
Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje

DIPLOMSKI RAD

Tomislav Radić

Zagreb, 2014.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje

DIPLOMSKI RAD

Voditelj rada:

Prof. dr. sc. Bojan Jerbić

Tomislav Radić

Zagreb, 2014.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno, služeći se znanjem stečenim tijekom studija i koristeći navedenu literaturu.

Ovom prilikom bih želio zahvaliti:

Voditelju rada prof. dr. sc. Bojanu Jerbiću na stručnim savjetima i pomoći tijekom izrade diplomskog rada.

Posebno bih želio zahvaliti svojoj obitelji - roditeljima Stjepanu i Nadi te bratu Vedranu na razumijevanju, potpori i pomoći kako tijekom izrade ovog rada, tako i tijekom cijelog studija.

Također zahvaljujem svima ostalima koji su mi na bilo koji način pomogli oko ovog rada.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Tomislav Radić**

Mat. br.: 0035163145

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Višeagentna robotska montaža**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Multiagent robotic assembly**

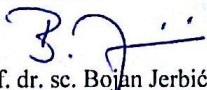
Opis zadatka:

U okviru diplomskog zadatka potrebno je oblikovati rješenje automatske montaže grebenaste sklopke višeagentskim robotskim sustavom. Sastavni dijelovi proizvoda dostavljaju se na radno mjesto u sredeuom i nesredeuom stanju. Za predmete u nesredeuom stanju potrebno je primijeniti vizijski sustav ovješeu na ruku robota za pronalaženje predmeta te određivanje njihove pozicije i orijentacije. Potrebno je izraditi upravljačke algoritme za rad robota koji trebaju rukovati zadanim predmetima razmjenjujući informacije o procesu te međusobnim stanjima i položajima. Zadatak implementirati na robotima u Laboratoriju za projektiranje izradbenih i montažnih sustava.

Zadatak zadan:

13. ožujka 2014.

Zadatak zadao:


Prof. dr. sc. Bojan Jerbić

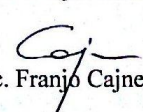
Rok predaje rada:

15. svibnja 2014.

Predviđeni datum obrane:

21., 22. i 23. svibnja 2014.

Predsjednik Povjerenstva:


Prof. dr. sc. Franjo Cajner

SADRŽAJ:

POPIS SLIKA	5
POPIS TABLICA.....	7
POPIS KRATICA I STRANIH RIJEČI.....	7
SAŽETAK.....	9
1. UVOD	10
1.1. Montaža.....	12
1.2. Automatizacija.....	13
1.3. Industrijski robot	14
1.4. Višeagentni robotski sustav.....	15
2. OPIS PROIZVODA AUTOMATSKE MONTAŽE	16
3. TEHNIČKE KARAKTERISTIKE AUTOMATSKOG MONTAŽNOG SUSTAVA	18
3.1. Industrijski robot Fanuc M-10iA.....	19
3.2. Industrijski robot Fanuc LRMate 200iC.....	21
3.3. Upravljačka jedinica robota.....	23
3.4. Upravljačka konzola robota.....	24
3.5. Vizijijski sustav	26
3.6. Okretna glava SCHUNK PHS 22-2	27
3.7. Transportni sustav VarioFlow	27
3.8. Vibracijski dodavači.....	28
3.9. Okretno postolje za montažu SMC MSQB50A	29
3.10. Upravljačka jedinica signala Allen Bradley 1769-L32E.....	29
4. OBLIKOVANJE AUTOMATSKOG MONTAŽNOG SUSTAVA	31
5. ROBOGUIDE	35
5.1. Izrada robotskih stanica u Roboguide-u	35
5.2. Upravljački programi	43
6. PRIPREMA I KALIBRACIJA STVARNOG ROBOTSKEG SUSTAVA	45
6.1. Robot 1	45
6.1.1. Izrada korisničkog koordinatnog sustava alata (TOOL FRAME)	45
6.1.2. Izrada korisničkog koordinatnog sustava (USER FRAME)	47
6.1.3. Kalibracija vizijijskog sustava.....	48
6.2. Robot 2	53
6.3. Robot 3	54

7.	UPRAVLJAČKI ALGORTIMI I KOMUNIKACIJA ROBOTSKEG SUSTAVA.....	57
7.1.	Upravljački program na Robotu 3	59
7.2.	Upravljački program na Robotu 2	62
7.3.	Upravljački program na Robotu 1	64
8.	ZAKLJUČAK	67
	LITERATURA.....	69

POPIS SLIKA

Slika 1.	Projektiranje automatskog montažnog sustava.....	10
Slika 2.	Fanuc automatizirana montažna linija [2].....	13
Slika 3.	Primjer industrijskog robota proizvođača Fanuc [3]	14
Slika 4.	Interakcija višeagentnog robotskog sustava	15
Slika 5.	Grebenasta sklopka proizvođača KONČAR, serija GN[4].....	16
Slika 6.	Sklop grebenaste sklopke.....	16
Slika 7.	Moguće konfiguracije potisnika i opruge u odnosu na tip razdjelne zvijezde	17
Slika 8.	Tehnička oprema	18
Slika 9.	Shematski prikaz šest-osnog upravljačkog sklopa (robota)-M-10iA	19
Slika 10.	Dimenzije i radno područje robota M-10iA[5]	20
Slika 11.	Shematski prikaz šest-osnog upravljačkog sklopa (robota)-LRMate 200iC5L[6].....	21
Slika 12.	Dimenzije i radno područje robota LRMate 200iC5L[6]	22
Slika 13.	R-30iA-'B' (lijevo) i R-30iA Mate (desno)	23
Slika 14.	Prikaz upravljačke konzole sa pojašnjenjem namjene pojedinih tipki	24
Slika 15.	Shematski prikaz iRVision vizijskog sustava [7]	26
Slika 16.	Okretna glava SCHUNK	27
Slika 17.	Segment transportnog sustava	28
Slika 18.	Vibracijski dodavač za element montaže - potisnik	28
Slika 19.	Okretno postolje SMC MSQB50A	29
Slika 20.	Upravljačka jedinica Allen Bradley (lijevo) i DeviceNet skener (desno)	29
Slika 21.	Vibracijski dodavač potisnika - model (lijevo) i stvarno stanje (desno)	31
Slika 22.	Vibracijski dodavač razdjelne zvijezde - model (lijevo) i stvarno stanje (desno)	31
Slika 23.	Paleta transportnog sustava – model (lijevo) i stvarno stanje (desno).....	32
Slika 24.	Stol sa pozadinskim osvjetljenjem – model (lijevo) i stvarno stanje (desno).....	32
Slika 25.	Automatski montažni sustav, 1. prikaz.....	33
Slika 26.	Automatski montažni sustav, 2. Prikaz.....	34
Slika 27.	Automatski montažni sustav, 3.prikaz.....	34
Slika 28.	Kreiranje nove robotske stanice.....	35
Slika 29.	Definiranje naziva robotske stanice	36
Slika 30.	Definiranje metode	36
Slika 31.	Izbor verzije softvera upravljačke jedinice robota	37
Slika 32.	Izbor aplikacije – <i>Handling Tool</i>	37
Slika 33.	Izbor mehaničke jedinice robota	38
Slika 34.	Definiranje dodatnih grupa	38
Slika 35.	Sažetak konfiguracije robotske stanice	39
Slika 36.	Inicijalizacija virtualne upravljačke jedinice	39
Slika 37.	Sučelje programskog paketa Roboguide	40
Slika 38.	Process Navigator	40
Slika 39.	Dodavanje fiksnih dijelova u sustav	41
Slika 40.	Dodavanje aktivnih dijelova u sustav	41
Slika 41.	Automatski montažni sustav, 1. Prikaz.....	42
Slika 42.	Automatski montažni sustav, 2. Prikaz.....	43

Slika 43.	Virtualna upravljačka konzola	44
Slika 44.	a) Točka prihvata alata b) Koordinatni sustav središta alata[6]	46
Slika 45.	Kalibracija alata - metoda tri točke	46
Slika 46.	Definiranje korisničkog koordinatnog sustava	47
Slika 47.	Pristup vizijskom sustavu.....	48
Slika 48.	iRVision sučelje	48
Slika 49.	<i>Camera Setup Tools</i>	49
Slika 50.	Kalibracijaka mreža.....	49
Slika 51.	<i>Camera Calibration Tools</i>	50
Slika 52.	Postupak kalibracije kamere [10]	51
Slika 53.	Vidno polje kalibrirane kamere	51
Slika 54.	<i>Teach Pattern</i>	52
Slika 55.	Pronalaženje opruge.....	53
Slika 56.	Okretna glava: položaj 1 -lijevo, položaj 2 -desno.....	54
Slika 57.	Slučaj 1.....	55
Slika 58.	Slučaj 2.....	55
Slika 59.	Slučaj 3.....	55
Slika 60.	Slučaj 4.....	56
Slika 61.	Slučaj 5.....	56
Slika 62.	Dijagram toka automatske montaže grebenaste sklopke	58

POPIS TABLICA

Tablica 1. Osnovne tehničke karakteristike robota	20
Tablica 2. Osnovne tehničke karakteristike robota FANUC LRMate 200iC	22
Tablica 3. Tehničke specifikacije upravljačke jedinice signala [8]	30

POPIS KRATICA I STRANIH RIJEČI

CAD – Computer-aided Design (dizajn potpomognut računalom)

LED – light-emitting diode

EGD – Ethernet Global Data (vrsta protokola kojeg je izumi GE-Fanuc)

EIP – Ethernet/IP Ethernet Industrial Protocol (vrsta komunikacijskog protokola)

IGS – Initial Graphics Exchange Specification

TCP – Tool Center Point

Offline – van mreže

Kinematics - kinematika

Assembly - sastavljanje

Design - dizajn

Trial Version – probna verzija

Handling - rukovanje

Tool - alat

Motion - gibanje

Grups - grupe

Edit - uredi

Properties - svojstva

Part - dio

Cell - ćelija

Arm - ruka

Fixture - fiksni dio

Joint - zglob

Vision - vizija

Setup - postaviti

Camera - kamera

Mounted - montirano

Exposure Time – vrijeme ekspozicija

Calibration - kalibracija

Grid Spacing – razmak u mreži

Plane - površina

Find . pronađi

Set - postavi

Pattern - uzorak

Teach - naučiti

Mask - maska

Height - visina

Set reference position – postavi referentnu poziciju

Handshake - rukovanje

SAŽETAK

U okviru ovog diplomskog rada oblikovano je rješenje automatske montaže grebenaste sklopke višeagentnim robotskim sustavom. Sastavni dijelovi proizvoda su: kućište, potisnik, zvijezda i opruga. Dijelovi se za potrebe montaže dostavljaju na radno mjesto u sređenom i nesređenom stanju. Kućište grebenaste sklopke dostavlja se transportnom trakom u paleti. Na ispitivanje prisutnosti odgovarajuće palete i kućišta u paleti primijenjen je vizijski sustav. Potisnik i zvijezda se iz nesređenog stanja vibracijskim dodavačima dovode u sređeno stanje. Opruga se nalazi u nesređenom stanju i za nju je potrebno primijeniti vizijski sustav za pronalaženje predmeta te određivanje njegove pozicije i orijentacije.

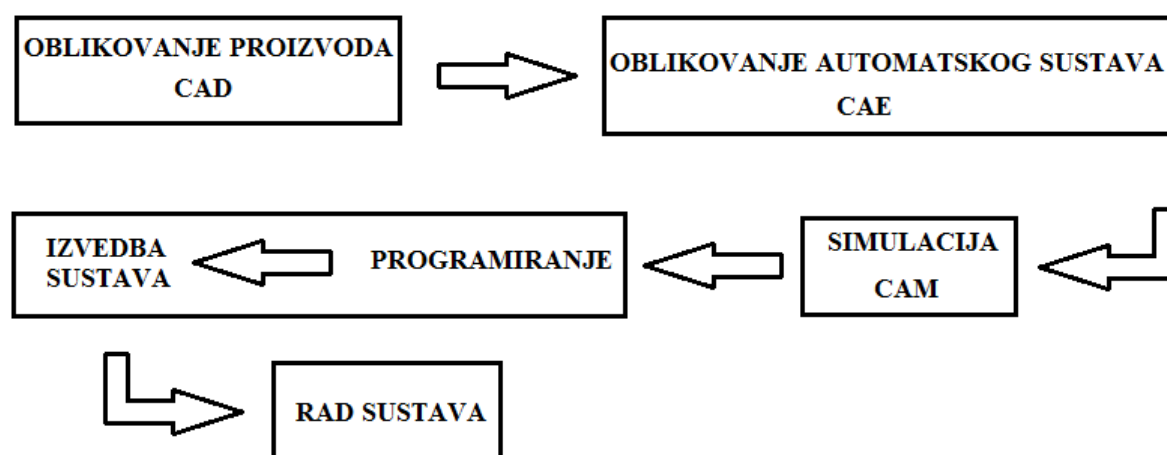
Idejno rješenje cijelog sustava prvo je razrađeno u programskom paketu CATIA V5R20. Izrađeni su svi potrebni CAD modeli. Sustav je organiziran tako da odgovara stvarnom sustavu u Laboratoriju za projektiranje izradbenih i montažnih sustava. Izrađena je i simulacija zamišljenog rješenja automatske montaže.

Da bi se ispitala dostupnost određenih pozicija i doseg robota korišten je simulacijski paket Roboguide. Izrađen je virtualni sustav koji simulira mehaničke jedinice robota kao i njihove upravljačke konzole. Za ostale elemente sustava korišteni su izrađeni CAD modeli. U istome programu, *offline* su izrađeni upravljački algoritmi za rad robota koji trebaju rukovati zadanim predmetima razmjenjujući informacije o procesu te međusobnim stanjima i položajima.

Izrađeni programi implementirani su na stvarnom sustavu u Laboratoriju za projektiranje izradbenih i montažnih sustava.

1. UVOD

Ovaj diplomski rad bavi se projektiranjem i programiranjem rješenja automatske montaže grebenaste sklopke. Proces projektiranja i programiranja automatskog montažnog sustava sastoji se se iz više faza prikazanih slikom 1.



Slika 1. Projektiranje automatskog montažnog sustava

Projektiranje se započinje oblikovanjem proizvoda i elemenata sustava koji će rukovati proizvodom, primjenom CAD alata. Sustav je oblikovan unutar programskog paketa CATIA V5R20. Prilikom projektiranja sustava automatske montaže uzimaju se u obzir zadana ograničenja. Ona se odnose na elemente kojima je unaprijed definiran položaj unutar sustava: roboti, postolja robota, radni stolovi i transportni sustav. Za ostale elemente automatskog sustava potrebno je pronaći optimalno rješenje rasporeda položaja. Do rješenja se dolazi ispitivanjem različitih varijanti virtualno oblikovanih sustava automatske montaže. Izabrano je rješenje koje najbolje odgovara zadanom procesu.

Simulacija procesa montaže izvedena je u modu *DMU Kinematics*. Kinematika svakog elementa koji se može gibati i pokretati u stvarnom sustavu izvedena je i u virtualnom sustavu.

Za fazu programiranja sustava i simuliranja napravljenih programa korišten je Fanuc-ov programski paket Roboguide. Zbog ograničenih mogućnosti Roboguide-a svi programi su kasnije doručeni na stvarnom sustavu.

Proizvod automatske montaže sastavlja se iz više ugradbenih elemenata što zahtjeva korištenje višeagentnog robotskog sustava. Višeagentni robotski sustav izvodit će koordinirani rad više robotskih jedinica kojima je moguće ostvariti složene operacije rukovanja ugradbenim elementima. Robotske jedinice (industrijski roboti) su jedan od danas načešćih kompleksnih elemenata putem kojeg se realiziraju automatski sustavi.

Sastavni elementi proizvoda su: kućište, zvijezda, potisnik i opruga. Oni se za potrebe montaže dostavljaju na radno mjesto u sređenom i nesređenom stanju. Sređeno stanje podrazumjeva poznatu poziciju i orijentaciju ugradbenog elementa. Nestrukturirana okolina ili nesređeno stanje znači da ugradbeni element nema prethodno određenu poziciju i orijentaciju. Pozicija je poznata samo u nekim ograničenim okvirima radnog područja robota.

Ugradbeni element kućište dostavlja se u sustav transportnom trakom u paleti. Na ispitivanje prisutnosti odgovarajuće palete i kućišta u paleti primijenjen je vizijski sustav. Vizijski sustav se sastoji od kamere ovješene na ruku robota koji rukuje ugradbenim elementom i programa unutar upravljačke jedinice robota u kojem se vrši obrada računalnog vida. Računalni vid obuhvaća procedure i metode za primanje, procesiranje, analiziranje i prevođenje slika iz stvarnog svijeta u programu prihvatljive matematičke informacije. Za ovaj dio sustava potrebno je izraditi vizijski proces koji će iz dobivenih informacija, na temelju programiranog algoritma, odlučiti koja će se programirana radnja izvršiti.

Za oprugu je zadano da se nalazi u nesređenom stanju. Na vizijskom sustavu robota koji rukuje oprugom potrebno je izraditi pouzdan vizijski proces koji će osigurati prepoznavanje orijentacije i pozicije predmeta rada. Vizijskim procesom omogućujemo robotu ispravno izuzimanje opruge iz nestrukturirane okoline.

U sustavu se nalaze dva vibracijaka dodavača koji robotima dostavljaju ugradbene elemente zvijezdu i potisnik. Elementi se iz nesređenog stanja vibrododavačima dovode u sređeno stanje poznate pozicije i orijentacije.

Potrebno je izraditi i upravljačke algoritme koji će omogućiti rad automatskog montažnog sustava. Pri izvođenju upravljačkih programa roboti u sustavu trebaju rukovati s dostavljenim ugradbenim elementima i sklapati zadani proizvod. Moraju se povezati s transportnim sustavom, vibracijskim dodavačima, stolom s pozadinskim osvjetljenjem i okretnim postoljem, te pri tome razmjenjivati informacije o procesu te međusobnim stanjima i položajima.

1.1. Montaža

Montaža je postala neizostavni dio gotovo svake proizvodnje. Zbog takve potrebe i raširenosti u proizvodnji potrebno joj je posvetiti mnogo pozornosti.

Prema definiciji: " Djelatnost kojoj je cilj spajanje dvaju ili više objekata u jednu cjelinu određene namjene ili svrhe naziva se montaža."[1]. Sklapanje je drugi pojam za montažu i ravnopravno se koristi.

Montaža je neizbježna u sljedećim slučajevima:

- ako se funkcija proizvoda ne može ostvariti jednim ugradbenim elementom
- kada treba osigurati međusobnu pokretljivost ugradbenih elemenata
- potreba za ugradbenim elementima od različitih materijala
- jeftinija izvedba dva ugradbena elementa umjesto jednoga
- osiguranje zamjenjivosti, transporta i demontaže ugradbenih elemenata radi smanjenja troškova
- održavanje proizvoda
- posebni zahtjevi na proizvod

Automatsku montažu karakteriziraju ponavljajuće operacije. S obzirom da se odvijaju u slijedu, njihov ciklus treba biti ujednačen. Automatska montaža može osigurati potrebnu ponovljivost pri obavljanju monotonih poslova čime nema narušavanja krajnje kvalitete proizvoda.

Glavni čimbenici koje moramo uzeti u obzir prilikom planiranja automatske montaže nekog proizvoda su sljedeći:

- proizvodna količina
- dimenzije proizvoda
- oblikovne značajke
- tolerancije dosjeda
- tržišni vijek proizvoda
- struktura troškova

Danas postoje sustavi kod kojih je u potpunosti izbačena ručna montaža, no troškovi uvođenja takvih sustava znaju biti jako veliki. Iz takvog procesa se izbacuju i sve ostale radnje koje ga usporavaju. Ideja je da se u konačnici oni uopće ne zaustavljaju ili da se zaustavljanje svede na minimum.

1.2. Automatizacija

Po definiciji: "Automatizacija je proces zamjene ljudskog rada strojevima, ne samo u pogledu snage, već i intelektualnog rada." [1]. Ona je nastavak mehanizacije. Dok mehanizacija rada omogućava čovjeku lakše uvjete rada, automatizacija smanjuje potrebu njegove prisutnosti u obavljanju određene djelatnosti.

Prednosti koje se ostvaruju automatizacijom su sljedeće [1]:

- manje cijene troškova sklapanja
- povećana produktivnost
- ujednačena kvaliteta proizvoda
- prilikom opasnih operacija povećana je sigurnost radnika

Nove tehnologije i znanja iz područja strojarstva, elektronike i računarstva omogućuju nam stvaranje takvih tehničkih sustava koji mogu realizirati automatsku montažu nekog procesa. Automatizacijom postizemo stvaranje učinkovitog tehnološkog procesa



Slika 2. Fanuc automatizirana montažna linija [2]

1.3. Industrijski robot

Prema definiciji: "Industrijski robot je automatski upravljani, programabilni, višenamjenski manipulacijski stroj otvorenog kinematičkog lanca s više stupnjeva slobode gibanja." [1].

Industrijski roboti općenito posjeduju sposobnost opisivanja najsloženijih kinematskih putanja uz zadržavanje točnosti i brzine. Upravljeni su računalom koje u realnom vremenu obrađuje složene kinematske i dinamičke probleme gibanja.



Slika 3. Primjer industrijskog robota proizvođača Fanuc [3]

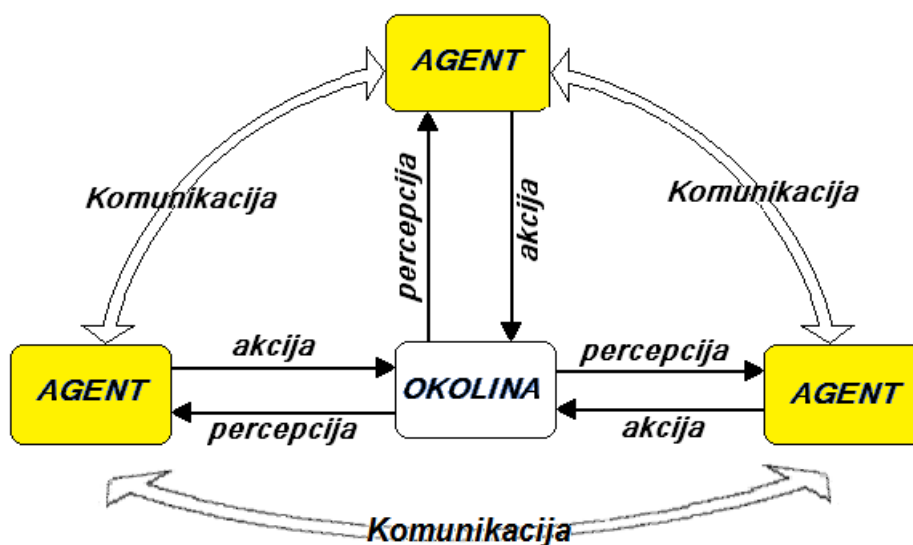
Glavne značajke industrijskih robota su:

- broj stupnjeva slobode gibanja – odnosi se na broj zglobova robota koji se mogu neovisno jedan o drugome gibati
- nosivost – maksimalni teret koji robot može nositi u svom zapešću
- točnost ponavljanja – mjera za maksimalno odstupanje mjernih vrijednosti u slučajevima ponavljanja istih operacija
- način upravljanja – linearno gibanje, interpolacija zglobova, kružno gibanje
- način programiranja – na računalu, direktno pomoću privjeska za učenje
- vrsta pogona – električni, pneumatski, hidraulički
- masa robota – bitna prilikom projektiranja sustava i pozicioniranja robota unutar njega
- doseg – krajnja točka koju robot može dohvatiti vrhom alata

- granice kretanja – granice unutar kojih robot može pokretati pojedinu os
- maksimalna brzina – bitna za vrijeme ciklusa operacija koje robot obavlja

1.4. Višeagentni robotski sustav

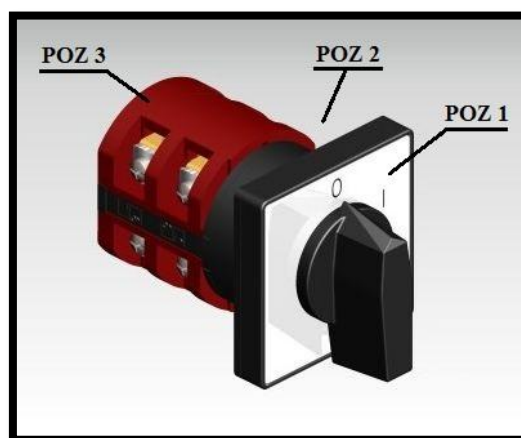
Višeagentni robotski sustavi su robotski sustavi koji se sastoje od više interaktivnih inteligentnih agenata unutar neke okoline. Koriste se za rješavanje problema koji je teško ili nemoguće riješiti pomoću individualne robotske jedinice. Višeagentni robotski sustav izvodi koordinirani rad više robotskih jedinica kojima je moguće ostvariti složene operacije rukovanja ugradbenim elementima. Na slici 4. prikazan je model interakcije višeagentnog robotskog sustava.



Slika 4. Interakcija višeagentnog robotskog sustava

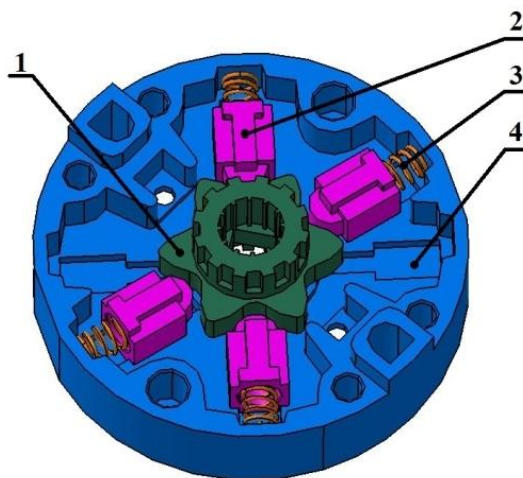
2. OPIS PROIZVODA AUTOMATSKE MONTAŽE

Grbenasta sklopka koja je predmet automatske montaže je zapravo dio završnog sklopa grebenaste sklopke prikazane na slici 5. Uvedena je konvencija označavanja kako bi u daljnjim razlaganjima znali na što se odnosi naziv 'grebenasta sklopka'. Sklop se sastoji od poluge sa pokazivačem položaja (POZ 1), dijela za priključke (POZ 3) i gebenaste sklopke (POZ 2).



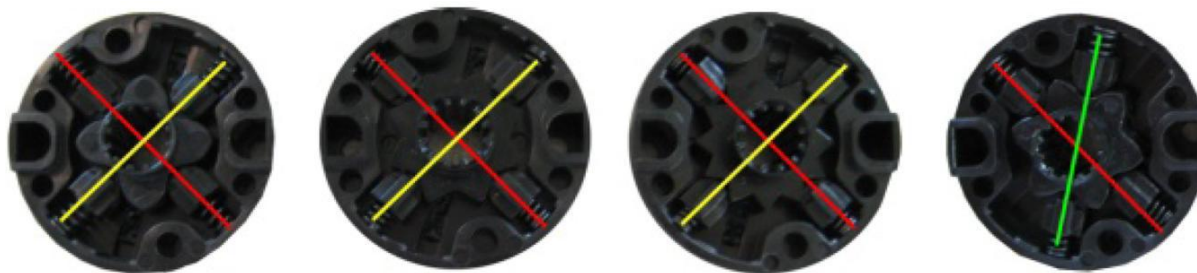
Slika 5. Grebenasta sklopka proizvođača KONČAR, serija GN[4]

Kućište grebenaste sklopke sa svim sastavnim dijelovima prikazano je na slijedećoj slici (Slika 6.). Sklop se sastoji od razdjelne zvijezde (POZ 1), četiri potisnika (POZ 2), četiri opruge (POZ 3) i kućišta (POZ 4).



Slika 6. Sklop grebenaste sklopke

Zadatak proizvoda je da osigurava položaj odnosno orijentaciju razdjelne zvijezde. Opruge svojim djelovanjem pritišću potisnike u utore na razdjelnoj zvijezdi, te sprječavaju njenu slobodnu rotaciju. U slučaju zakretanja razdjelne zvijezde njene bočne stijenke pomiču potisnike koji tlače opruge. Nakon prijelaska vrhova zvijezde potisnici ulaze u sljedeće utore i osiguravaju novi položaj. Razdjelne zvijezde dolaze u izvedbama sa 4, 6, 8 i 12 krakova te su tako moguće različite konfiguracije položaja potisnika i opruge prikazane na slici 7.



Slika 7. Moguće konfiguracije potisnika i opruge u odnosu na tip razdjelne zvijezde

U ovom radu razrađena je automatska montaža grebenaste sklopke sa razdjelnom zvijezdom sa šest krakova. Iz nje se lako daju izvesti rješenja i za ostale slučajeve. Potrebna su samo mala podešenja upravljačkih algoritama sustava.

3. TEHNIČKE KARAKTERISTIKE AUTOMATSKOG MONTAŽNOG SUSTAVA

Tehnička oprema na kojoj je izrađen praktični dio ovoga rada nalazi se u Laboratoriju za projektiranje izradbenih i montažnih sustava.



Slika 8. Tehnička oprema

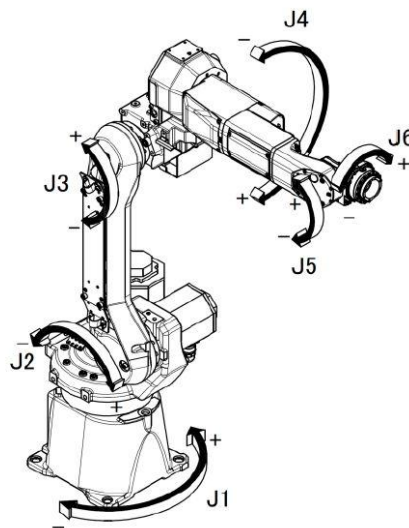
Sustav se sastoji od sljedeće opreme:

- industrijski robot Fanuc M-10iA
 - upravljačka jedinica
 - upravljačka konzola
 - vizijski sustav
 - okretna glava
 - prihvatnice

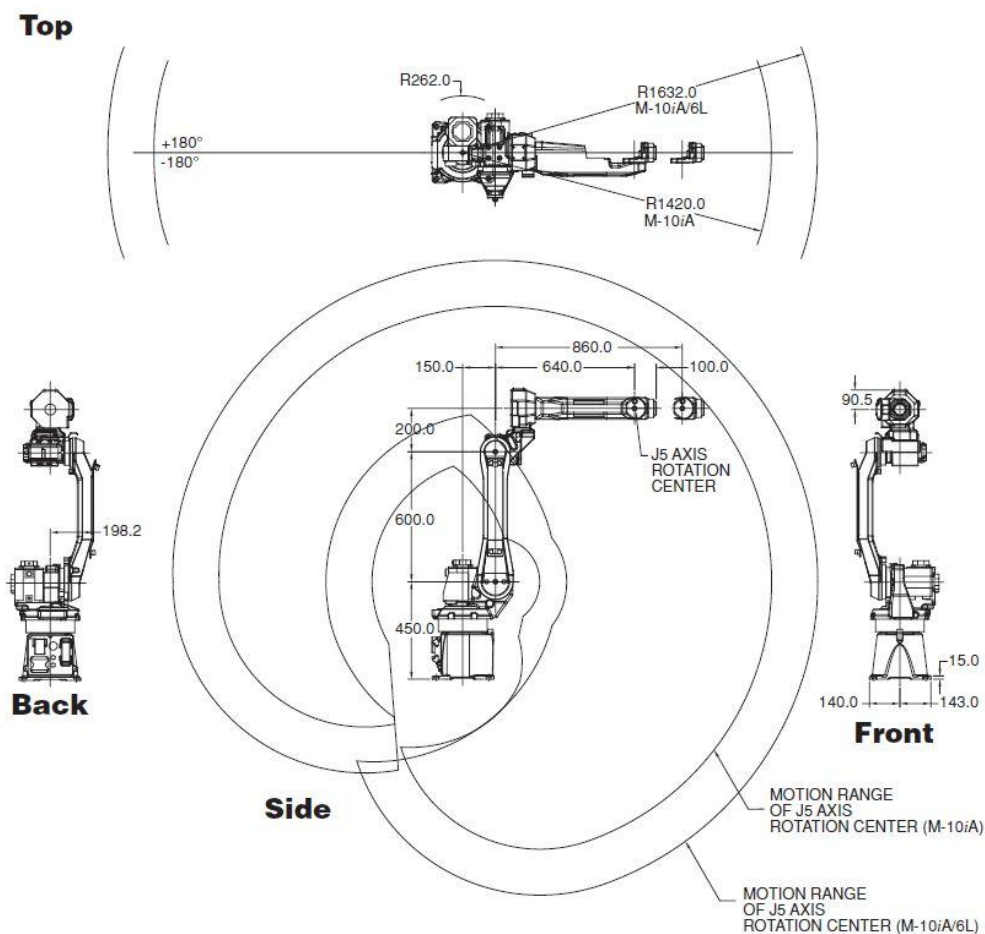
- industrijski robot Fanuc LRMate 200iC (dva komada)
 - upravljačka jedinica
 - upravljačka konzola
 - vizijski sustav
 - prihvatnica
- transportna traka
- vibracijski dodavač za element montaže - zvijezda
- vibracijski dodavač za element montaže - potisnik
- stolić sa pozadinskim osvjetljenjem za element montaže - opruga
- okretno postolje za montažu
- upravljačka jedinica signala

3.1. Industrijski robot Fanuc M-10iA

M-10iA je Fanuc-ov šest-osni industrijski robot visokih performansi. Ovaj mali ali moćan robot teži samo 130kg i na svom zapešću može nositi teret do 10kg. Može biti ugrađen uspravno, na zid, strop ili pod bilo kojim kutem. Ima dosta veliko radno područje i sa svojom velikom brzinom u osima i visokom ponovljivošću spada u najbolje robote u svojoj klasi. Dimenzije i radno područje robota prikazano je slikom 10. U tablici 1. nalaze se osnovne tehničke karakteristike robota.



Slika 9. Shematski prikaz šest-osnog upravljačkog sklopa (robota)-M-10iA



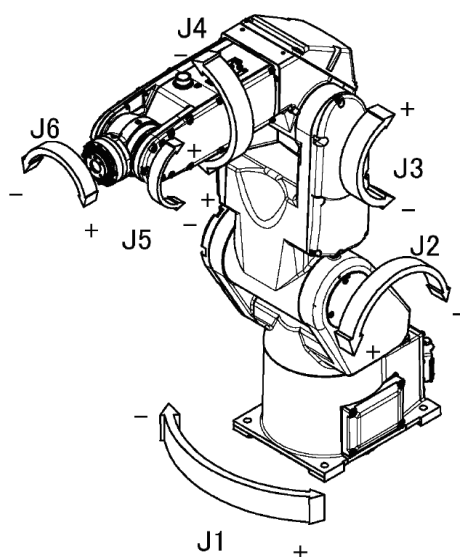
Slika 10. Dimenzije i radno područje robota M-10iA[5]

Tablica 1. Osnovne tehničke karakteristike robota

Broj osi		6
Masa		130kg
Doseg		1420mm
Točnost ponavljanja		±0.08mm
Maksimalna nisivost na zglobu		10kg
Opseg gibanja	J1	340° (5,93rad)
	J2	250° (4,01rad)
	J3	445° (6,51rad)
	J4	380° (6,63rad)
	J5	380° (4,19rad)
	J6	720° (12,57rad)
Maksimalna brzina	J1	210°/s (4,71rad/s)
	J2	190°/s (4,71rad/s)
	J3	210°/s (4,71rad/s)
	J4	400°/s (7,85rad/s)
	J5	400°/s (7,85rad/s)
	J6	600°/s (12,57rad/s)

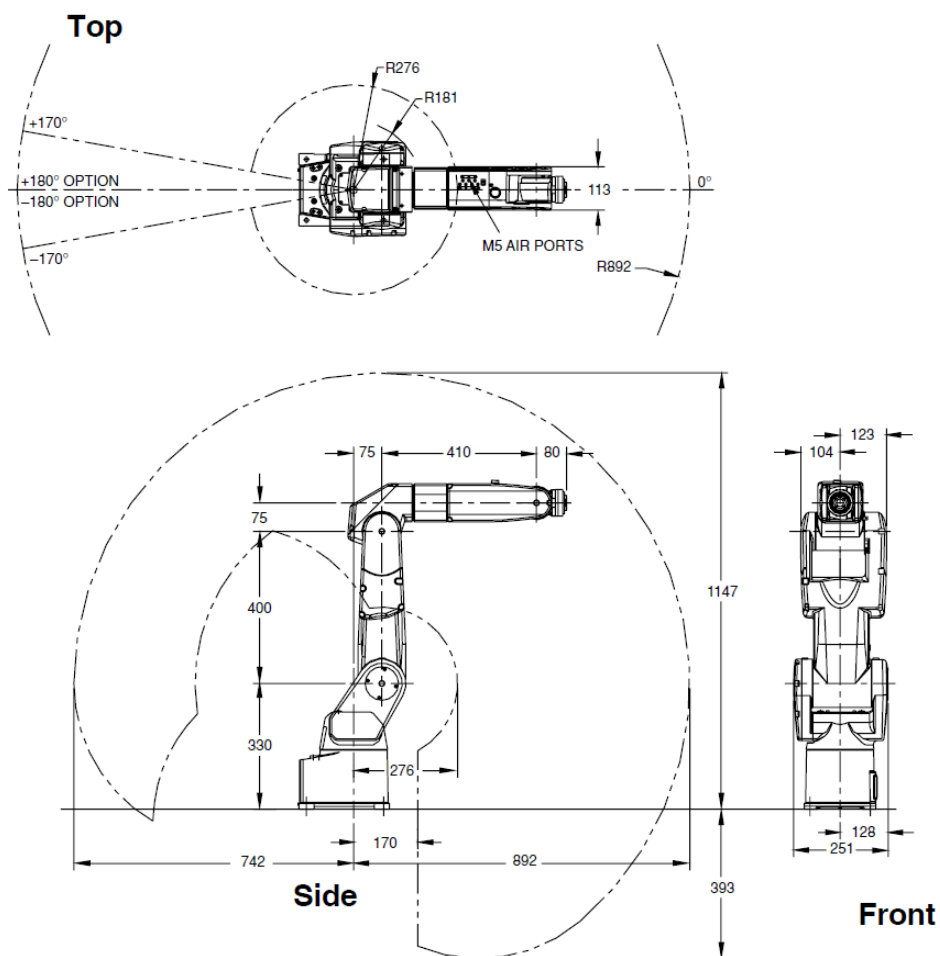
3.2. Industrijski robot Fanuc LRMate 200iC

Šest-osni LRMate 200iC može na svom zapešću nositi teret do 5kg. Stolna veličina, tanki zglobovi te malo postolje mu dozvoljavaju rad u skučenim radnim prostorima. Ima iznimnu ponovljivost od $\pm 0.03\text{mm}$ pri punoj nosivosti i brzini unutar cijelog radnog prostora. Dizajnom robota i unutarnjom ugradnjom kablova i crijeva izbjegnuto je njihovo zapetljavanje.



Slika 11. Shematski prikaz šest-osnog upravljačkog sklopa (robota)-LRMate 200iC5L[6]

Uspravno ili ugradnja pod nekim kutem, na zid ili strop povećava fleksibilnost njegovog radnog prostora. Veća krutost i najnaprednija servo tehnologija omogućuje mu glatke pokrete bez vibracija pri velikim brzinama. Radni prostor robota prikazan je slikom 12. dok su tehničke karakteristike robota prikazane tablicom 2.



Slika 12. Dimenzije i radno područje robota LRMate 200iC5L[6]

Tablica 2. Osnovne tehničke karakteristike robota FANUC LRMate 200iC

Broj osi		6
Masa		29kg
Doseg		892mm
Točnost ponavljanja		±0.03mm
Maksimalna nisivost na zglobu		5kg
Opseg gibanja	J1	340° (5,93rad)
	J2	230° (4,01rad)
	J3	373° (6,51rad)
	J4	380° (6,63rad)
	J5	240° (4,19rad)
	J6	720° (12,57rad)
Maksimalna brzina	J1	270°/s (4,71rad/s)
	J2	270°/s (4,71rad/s)
	J3	270°/s (4,71rad/s)
	J4	450°/s (7,85rad/s)
	J5	450°/s (7,85rad/s)
	J6	720°/s (12,57rad/s)

3.3. Upravljačka jedinica robota

Sva tri robota u sustavu upravljana su svojom "R-30iA" upravljačkom jedinicom. Upravljačka jedinica "M-10iA" robota je tip "R-30iA-'B' ". Poprilično je glomazna za razliku od upravljačke jedinice "LRMate 200iC" robota koja je tip "R-30iA Mate". Prikazane su na slici 13.

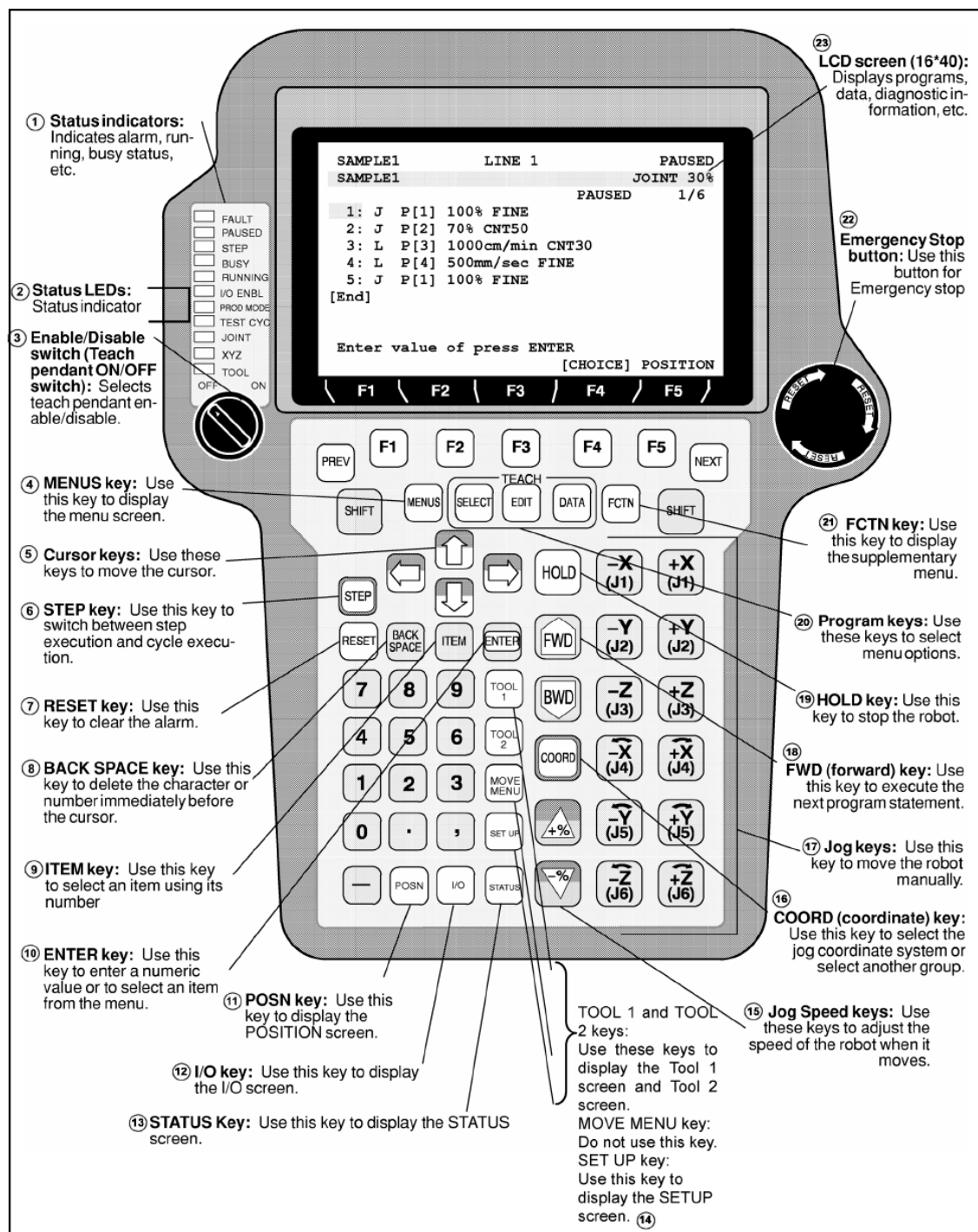


Slika 13. R-30iA-'B' (lijevo) i R-30iA Mate (desno)

R-30iA upravljačka jedinica ima ugrađene proširene funkcije umrežavanja putem CC-Link, Ethernet I/O (EGD i EIP priključak), DeviceNet i Profibus. Podržava niz inteligentnih sustava uključujući integrirani vizijski sustav iRVision i senzore sile i momenata - FS-10iA. Karakteristike napajanja su sljedeće: 200-230VAC jednofazni; 10%, -15%, 50/60 Hz \pm 1Hz. Procesor je multi-procesorske arhitekture s odvojenim dijelom za gibanje od komunikacije. Serijska/ host komunikacija se sastoji od jednog 100 Base-TX/10 Base-T Ethernet porta s RJ-45 priključkom i jednog RS-232-C / RS-485 ulaza. Ugrađeno je 28 digitalnih ulaza i 24 digitalna izlaza 24VDC (vanjsko 24VDC napajanje je potrebno za digitalne izlaze).

3.4. Upravljačka konzola robota

Upravljačka konzola ili privjesak za učenje je ručni kontrolni terminal robota. Osigurava jednostavan način upravljanja robotom, izrade programa ili pokretanje već gotovih.



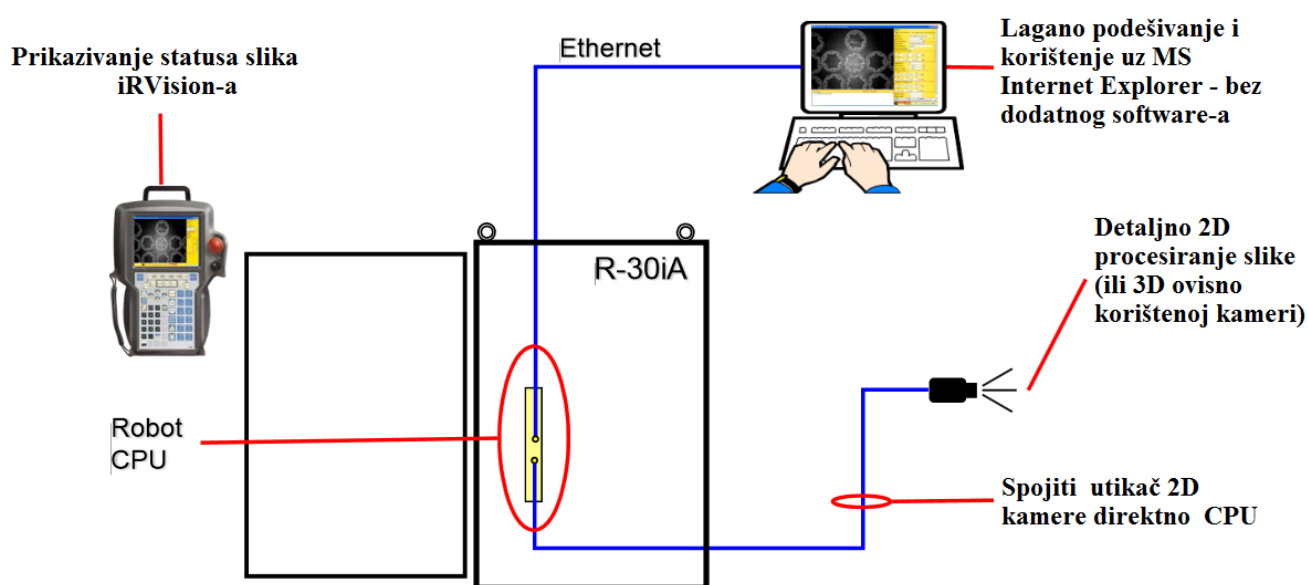
Slika 14. Prikaz upravljačke konzole sa pojašnjenjem namjene pojedinih tipki [7]

Opis upravljačkih tipki :

1. Indikator stanja (eng. status indicator) – označava alarm, u radu, zauzet itd...
2. LED diode stanja – na upravljačkoj konzoli upravljačke jedinice R 30iA Mate ove oznake stanja nalaze se na zaslonu upravljačke konzole
3. Omogućena / onemogućena (eng. enable - disable) upravljačka konzola – ON/OFF sklopka
4. Tipka izbornik (eng. menu) – služi za prikazivanje glavnog izbornika
5. Tipke pokazivača (eng. cursor) – služe za pomicanje pokazivača
6. Tipka korak (eng. step) – služi za promjenu načina rada između koračnog i kontinuiranog načina izvršavanja naredbi
7. Tipka za vraćanje na izvorne postavke (eng. reset)
8. Tipka pomak unatrag (eng. backspace) – koristi se za brisanje broja ili znaka koji se nalazi prije pokazivača
9. Tipka predmet (eng. item) – koristi se za označavanje predmeta koristeći njegov broj
10. Tipka unos (eng. enter) – koristi se za upis numeričke vrijednosti ili znaka, označavanje programa, potvrde predmeta sa izbornika, itd...
11. Tipka pozicije (POSN, eng. position) – koristi se za prikaz zaslona pozicija robota
12. Tipka ulaz/izlaz (I/O, eng. input/output) – koristi se za prikaz zaslona sa ulazno izlaznim signalima robota
13. Tipka stanja (eng. status) – Koristi se za prikaz zaslona sa stanjem robota
14. Tipke alata (eng. tool) – prikaz zaslona alata
15. Tipka brzine kretanja robota (eng. jog speed) – koriste se za određivanje brzine robota prilikom izvođenja naredbi gibanja
16. Tipka koordinatnih sustava (COORD, eng. coordinate) – koristi se za izbor koordinatnog sustava robota
17. Tipka za ručno pomicanje robota (eng. Jog) – ručno pomicanje robota
18. Tipka naprijed (FWD, eng. forward) –koristi se za izvođenje slijedeće naredbe u programu
19. Tipka čekanja (eng. hold) – koristi se za zaustavljanje robota
20. Tipke programa (eng. program keys) – koriste se za izbor opcija izbornika
21. Tipka funkcije (FCTN) – prikaz dodatnog izbornika
22. Tipka hitnog zaustavljanja (eng. emergency stop button) – koristi se za trenutno zaustavljanje rada robota
23. LCD ekran upravljačke konzole

3.5. Vizijski sustav

Vizijski sustav je tehnologija već integrirana na upravljačke jedinice robota. Upotrebom takvih integriranih sustava izbjegava se korištenje posredničkih računala. Vizijski sustav konkretno na R-30iA upravljačkoj jedinici naziva se iRVision. On nam omogućuje brzu komunikaciju i procesiranje, visoko pouzdan Fanuc hardver, softver s visokom razlučivošću detalja i skaliranja te brojne ugrađene opcije za 2D snimanje, 3D snimanje, mjerenje zakreta objekta i sl. Na slijedećoj slici (Slika 15.) nalazi se shematski prikaz rada iRVision vizijskog sustava i bit će detaljnije razrađen u 6. poglavlju.



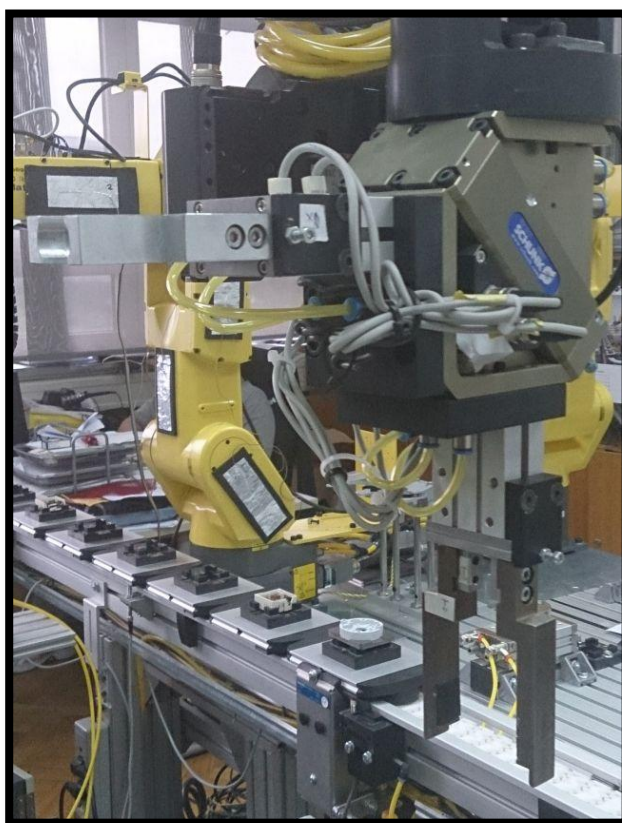
Slika 15. Shematski prikaz iRVision vizijskog sustava []

Vizijski sustavi se u automatskoj montaži koriste za kontrolu dijelova i sklopova, te identifikaciju i lokalizaciju predmeta rada. To su cjeline koje se sastoje od prihvatnog člana (kamera), mjesta na kojem će se vršiti obrada računalnog vida (upravljačka jedinica robota) i nekog izvršnog člana (industrijski robot). Računalni vid obuhvaća procedure i metode za primanje, procesiranje, analiziranje i prevođenje slika iz stvarnog svijeta u programu prihvatljive matematičke informacije. Iz dobivenih informacija računalno može, na temelju programiranog algoritma, odlučiti koju će programiranu radnju izvršiti.

Korištenjem vizijskih sustava napravljen je prvi korak u postizanju tzv. "inteligentnog montažnog sustava". Svrha i krajnji cilj vizijskog procesa je snalaženje industrijskog robota u nestrukturiranoj okolini.

3.6. Okretna glava

Na robotu M-10iA instalirana je okretna glava proizvođača Schunk koja može na sebi nositi dva različita tip alata. Okretna glava nam pruža mogućnost da u radni položaj u kojemu se Z-os alata poklapa sa Z-osi završnog članka robota dovedemo potreban alat. Prednost okretne glave je da možemo jednim robotom manipulirati sa dva različita ugradbena elementa našeg proizvoda s povoljnom raspodjelom sila naprezanja unutar nje.



Slika 16. Okretna glava SCHUNK

3.7. Transportni sustav VarioFlow

VarioFlow lančani transportni sustav proizvođača Rexroth svojim vrhunskim performansama izvrsno se uklapa u automatski montažni proces. Brojni transportni moduli nude rješenja za najrazličitije zadatke transportiranja. U ovom radu zadaća transportnog sustava je dobavljanje kućišta grbenaste sklopke. Kućište se nalazi u jednom specifičnom transportnom modulu izrađenom baš za tu svrhu. Isto tako transportni sustav služi i za odvođenje gotovog proizvoda.



Slika 17. Segment transportnog sustava

3.8. Vibracijski dodavači

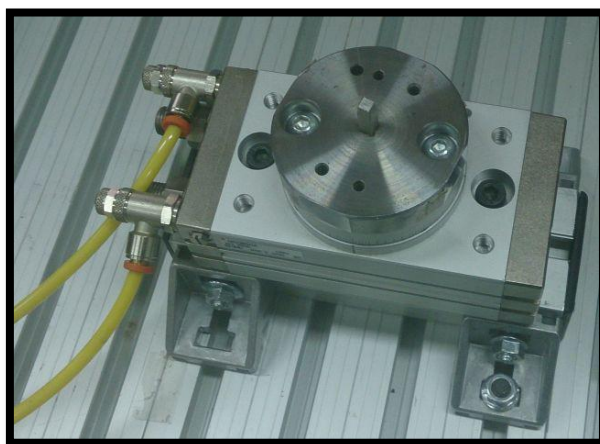
Vibracijski dodavači su najčešće korišteni tip dodavača malih izradaka. Primjenjuju se u automatiziranim montažnim sustavima te objedinjuju skladištenje, transport i orjentiranje. Jednostavne su konstrukcije. U laboratorijskom sustavu nalaze se dva vibracijska dodavača i linijskog su tipa. Prvi posluhuje montažni sustav razdjelnim zvijezdama a drugi potisnicima. Elementi dolaze u nizu i jednolično su poredani.



Slika 18. Vibracijski dodavač za element montaže - potisnik

3.9. Okretno postolje za montažu SMC MSQB50A

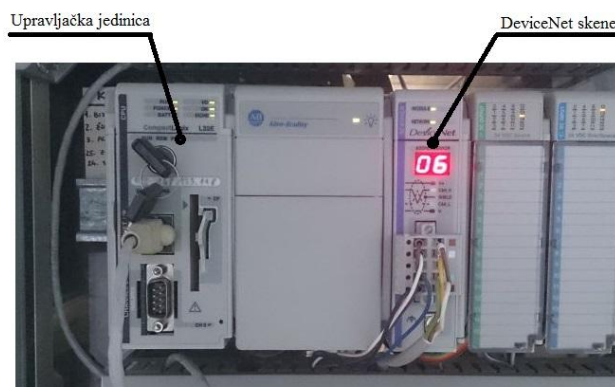
U laboratoriju je na raspolaganju okretno postolje proizvođača SMC na kojem se odvija sklapanje dijelova proizvoda. Koristi se za promjenu orijentacije predmeta rada zbog nemogućnosti doseganja određenih pozicija industrijskim robotom prilikom montaže. Na sljedećoj slici (Slika 17.) prikazano je okretno postolje korišteno u sustavu. Ima mogućnost maksimalnog zakreta od 190° . Za potrebe automatske montaže podešeno je za zakret od 180° .



Slika 19. Okretno postolje SMC MSQB50A

3.10. Upravljačka jedinica signala Allen Bradley 1769-L32E

Allen Bradley CompactLogix 1769-L32E je upravljačka jedinica koja upravlja svim signalima u sustavu. Stanja signala dobiva preko DeviceNet skenera prikazanog desno na slici 18. Korištenjem komunikacijskog protokola DeviceNet odvija se njihovo međusobno komuniciranje i komuniciranje svih uređaja u sustavu.



Slika 20. Upravljačka jedinica Allen Bradley (lijevo) i DeviceNet skener (desno)

Osnovne tehničke karakteristike upravljačke jedinice signala dane su u tablici 3.

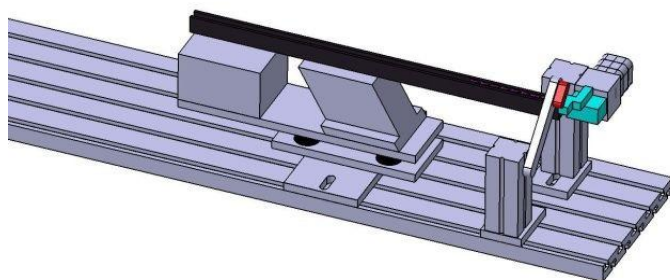
Tablica 3. Tehničke specifikacije upravljačke jedinice signala [9]

Allen Bradley CompactLogix 1769-L32E	
Korisnička memorija	750 KB
Stalna memorija	64 MB, 128 MB (CompactFlash)
Maksimalan broj ulazno/izlaznih modula	16
Komunikacijski priključci	1 RS-232-C 1 EtherNet/IP
Minimalno razdoblje obnavljanja ulaza i izlaza	1 ms
Struja	660 mA za 5V 90 mA za 24V

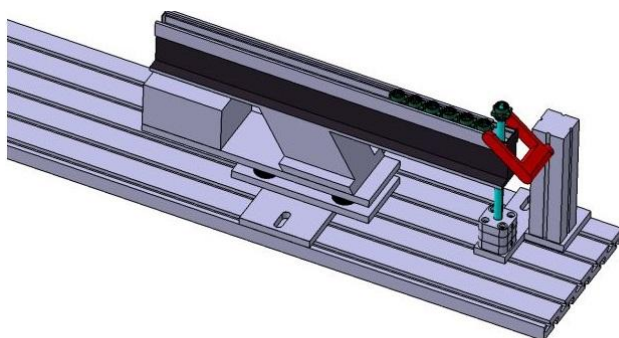
4. OBLIKOVANJE AUTOMATSKOG MONTAŽNOG SUSTAVA

Jedan dio sustava već je prethodno oblikovan u CAD-u, dok je u radu bilo potrebno izraditi modele nedostajućih elemenata da bi što vjernije mogli prikazati i simulirati idejno rješenje automatskog montažnog sustava. Izrađeni su sljedeći elementi: vibracijski dodavači za elemente montaže zvijezdu i potisnik, stolovi na kojima se nalaze vibracijski dodavači, paleta transportnog sustava za dovodenje kućišta grebenaste sklopke i odvođenje gotovog proizvoda, stol sa pozadinskim osvjetljenjem i stol na kojem se odvija montaža proizvoda.

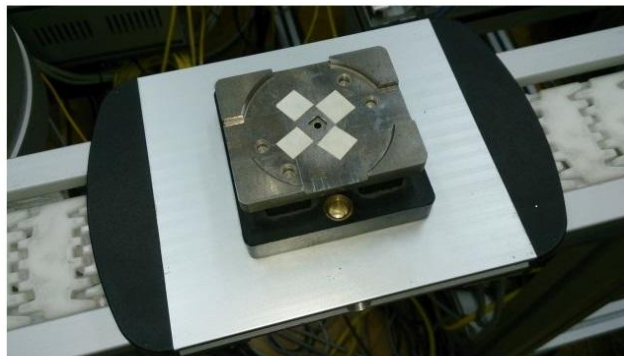
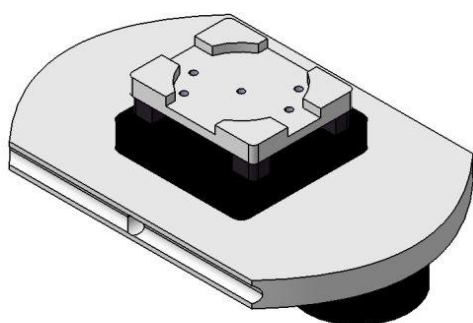
Vibracijski dodavači u stvarnom sustavu nemaju dostupnu tehničku dokumentaciju te su njihovi modeli izrađeni prema ručno uzetim mjerama. Na isti način modelirani su i ostali potrebni elementi. Sljedeće slike prikazuju usporedno njihovu realizaciju pomoću programskog paketa CATIA V5R20, te stvarno stanje.



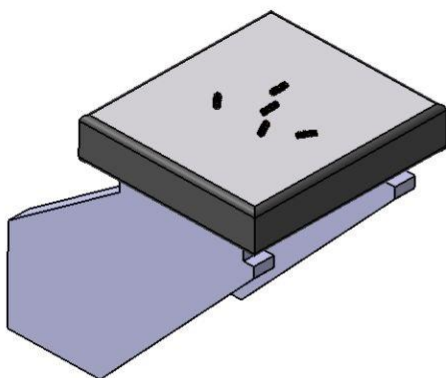
Slika 21. Vibracijski dodavač potisnika - model (lijevo) i stvarno stanje (desno)



Slika 22. Vibracijski dodavač razdjelne zvijezde - model (lijevo) i stvarno stanje (desno)



Slika 23. Paleta transportnog sustava – model (lijevo) i stvarno stanje (desno)



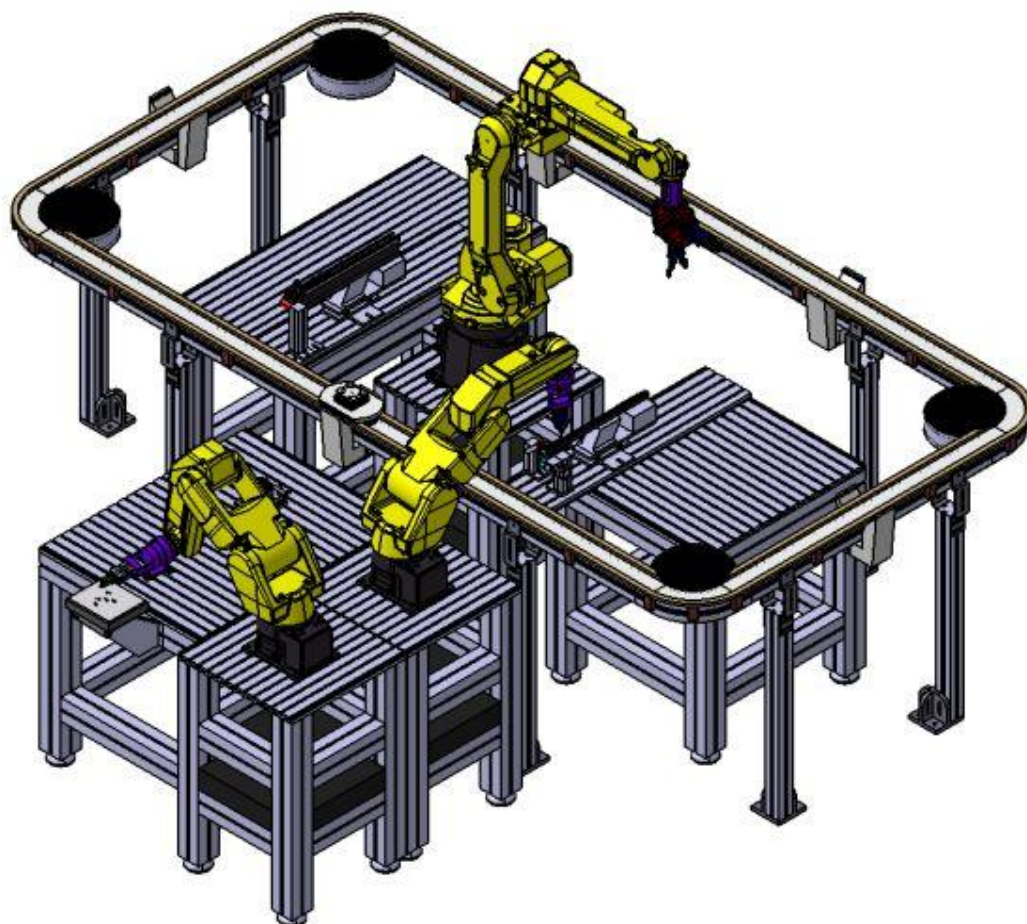
Slika 24. Stol sa pozadinskim osvjetljenjem – model (lijevo) i stvarno stanje (desno)

Nakon izrade svih potrebnih CAD modela oni se u programu CATIA u modu *Assembly Design* povezuju u jednu cjelinu. Na taj način se sastavlja cijeli virtualni sustav automatske montaže i njegova konfiguracija je proizvoljna.

Većina elemenata u stvarnom sustavu je fiksna i ne može se mijenjati ili nije potrebno mijenjati njihov položaj. Ipak za nekoliko elemenata promjenjena je pozicija. Npr. stol sa pozadinskim osvjetljenjem na kojem se nalaze opruge kao ugradbeni elementi proizvoda montaže montiran je na bočnu stranu stola za montažu (Slika 22.). Na taj način izbjegnuto je premještanje vibracijskog dodavača potisnika i postignuta ušteda prostora i vremena. Isto tako okretno postolje na kojem se sastavlja proizvod postavljeno je na stol za montažu na poziciju koja se činila najprikladnijom i dostupnom svakom robotu u sustavu. Baš u takvim

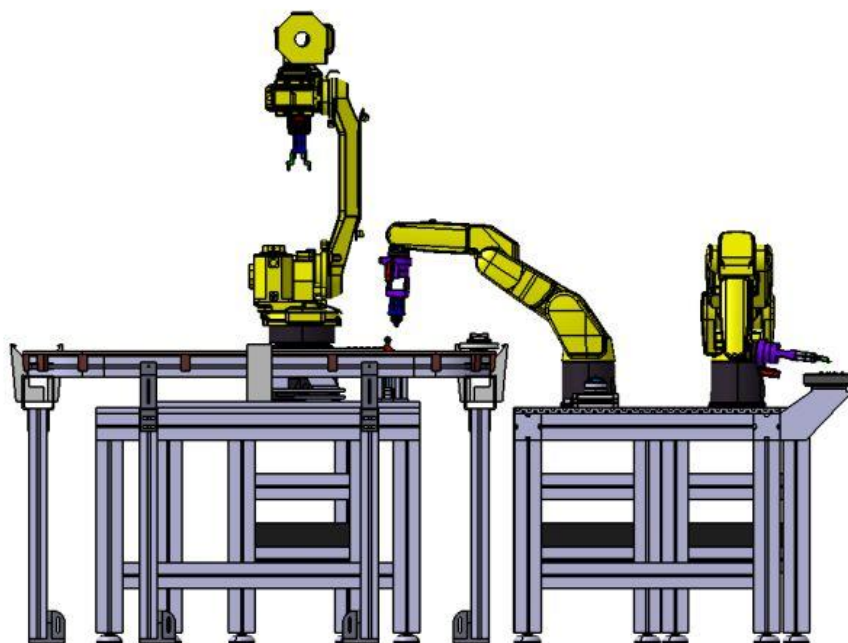
slučajevima kada se ne zna da li je neka zamisao dobra, primjenjuje se virtualno inženjerstvo gdje se vrlo brzo i jednostavno dolazi do jednog ili više povoljnih rješenja.

Cijeli virtualni sustav automatske montaže oblikovan je tako da odgovara stvarnom sustavu. Prvenstveno je rađen da bi se mogao simulirati proces montaže sa konfiguracijom onih elementa koji su premješteni ili pomaknuti onako kako je zamišljeno. Na sljedećim slikama je nekoliko prikaza tog sustava.¹

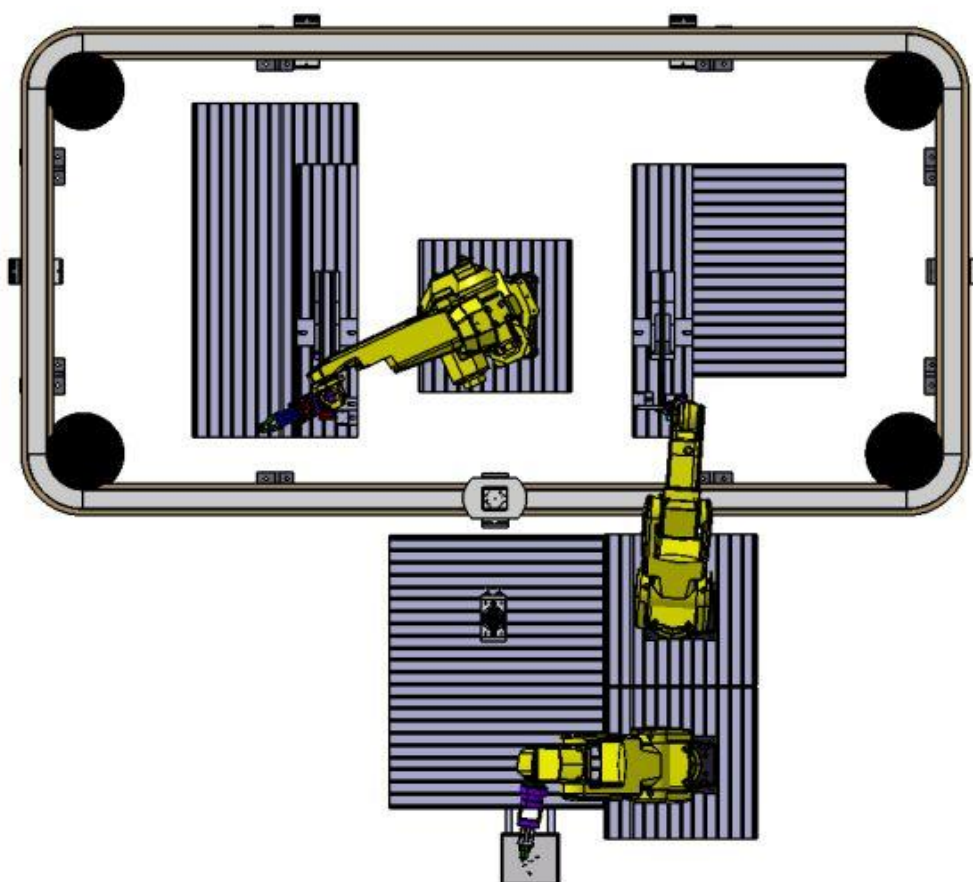


Slika 25. Automatski montažni sustav, 1. prikaz

¹ CAD modeli i video simulacije rada sustava izrađen u programu CATIA nalazi se na CD-u u prilogu diplomskog rada.



Slika 26. Automatski montažni sustav, 2. Prikaz



Slika 27. Automatski montažni sustav, 3.prikaz

5. ROBOGUIDE

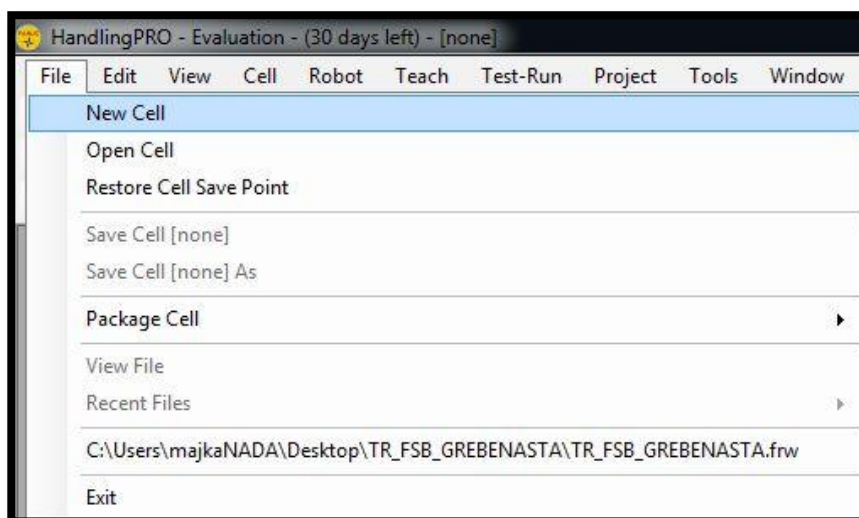
Roboguide je simulacijski paket koji služi za *offline* programiranje Fanuc robota. Donosi dodatne funkcionalnosti u odnosu na rad sa upravljačkom konzolom. Moguća je izrada i testiranje programa na osobnom računalu bez potrebe za zaustavljanjem rada robota. Pri školovanju većeg broja ljudi nema potrebe za velikim brojem realnih robota. Unutar Roboguide-a nalazi se virtualni sustav koji sadrži virtualne mehaničke jedinice robota i njihove upravljačke jedinice, te upravljačke konzole.

U ovom programu napravljen je virtualni sustav automatske montaže kao i u CATIA-i s razlikom da mehaničke jedinice robota nije bilo potrebno sastavljati u kinematičku cjelinu već kao takve postoje ugrađene u sam program. Mehaničke jedinice robota u programu sadrže svoje upravljačke jedinice i upravljačke konzole. Na virtualnim upravljačkim konzolama izrađeni su upravljački algoritmi koji simuliraju usporedni rad robota u virtualnom sustavu.

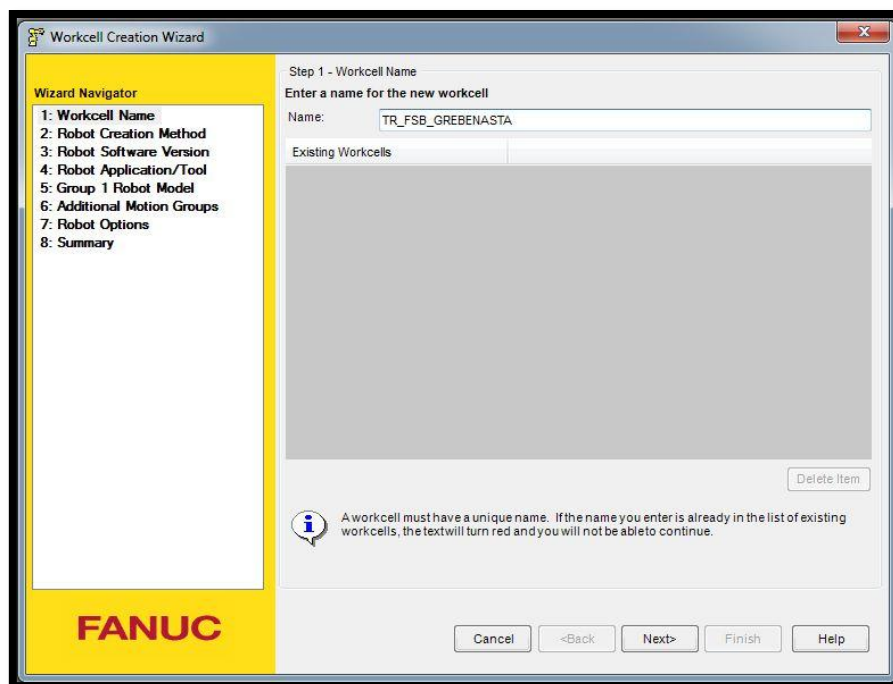
Dostupna verzija programa je *trial* verzija i nema u sebi ugrađene sve opcije. Tako je dio koji se odnosi na viziju izostavljen iz upravljačkih algoritama koji su naknadno ispravljeni i nadopunjeni na realnom sustavu.

5.1. Izrada robotskih stanica u Roboguide-u

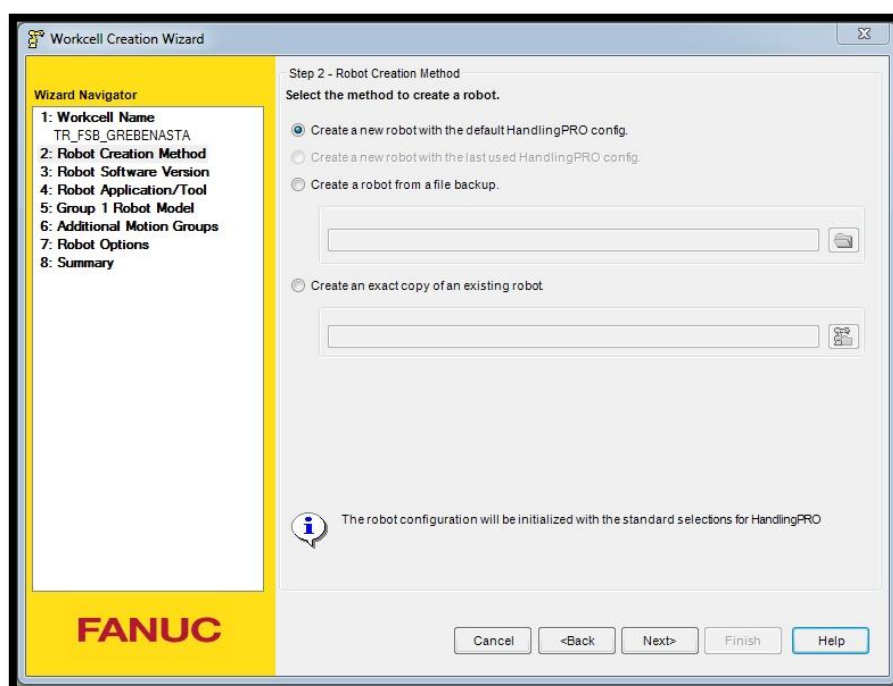
Prije samog rada u Roboguide-u potrebno je definirati postavke robotskih stanica te izvršiti izbor potrebnih parametara. U našem sustavu se nalaze tri industrijska robota. Prikazat će se postupak izrade postavki za jednoga.



Slika 28. Kreiranje nove robotske stanice

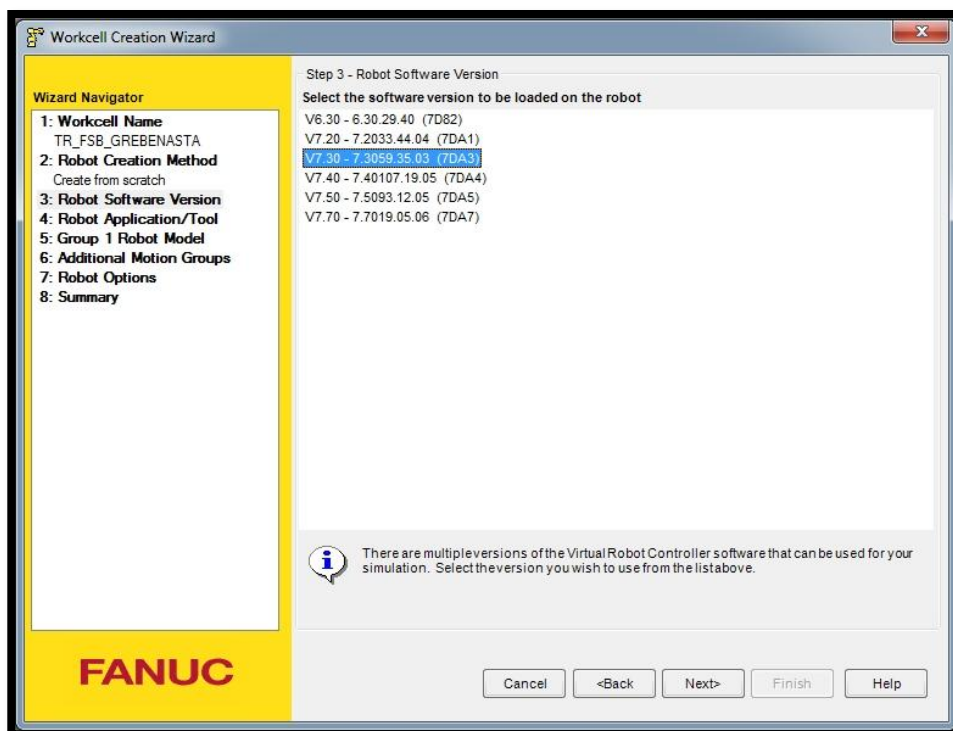


Slika 29. Definiranje naziva robotske stanice

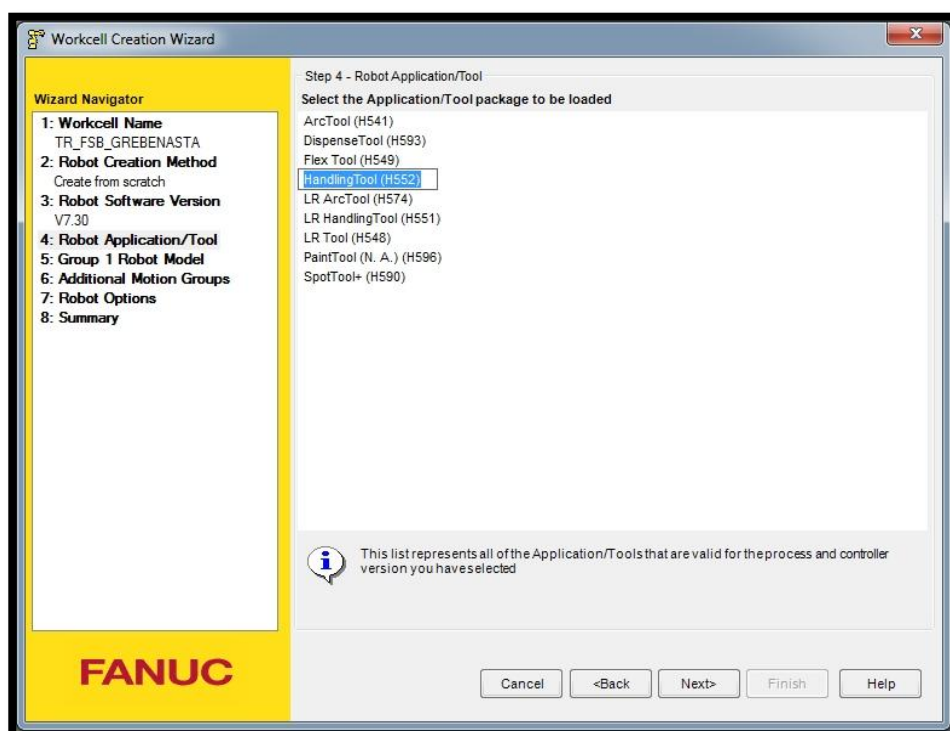


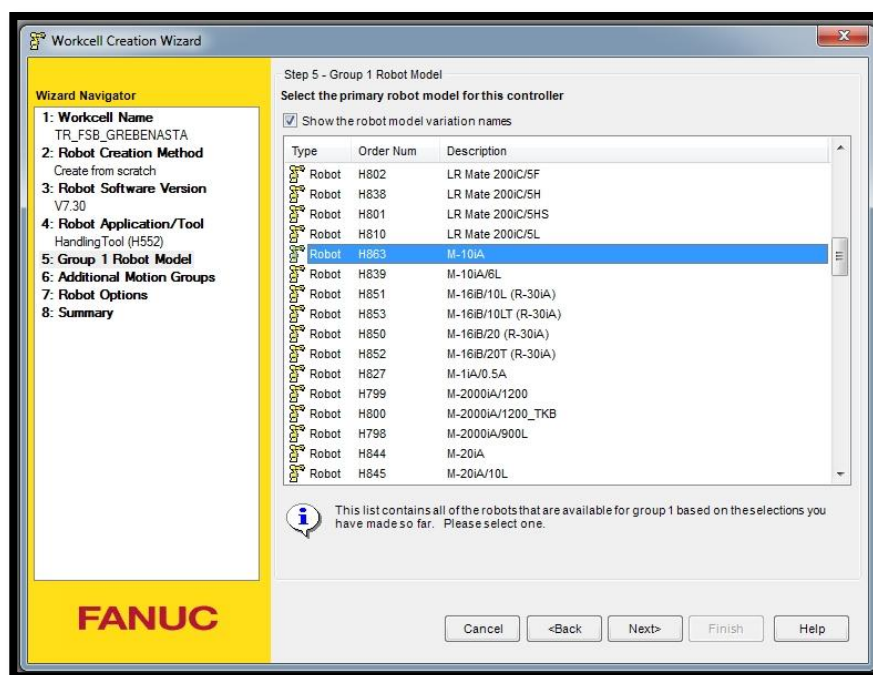
Slika 30. Definiranje metode

Prilikom izbora verzije softvera upravljačke jedinice robota poželjno je izabrati verziju 7.30 iz razloga što će upravljački algoritmi pisani za tu verziju softvera biti kompatibilni sa novijim verzijama dok suprotno nije moguće.



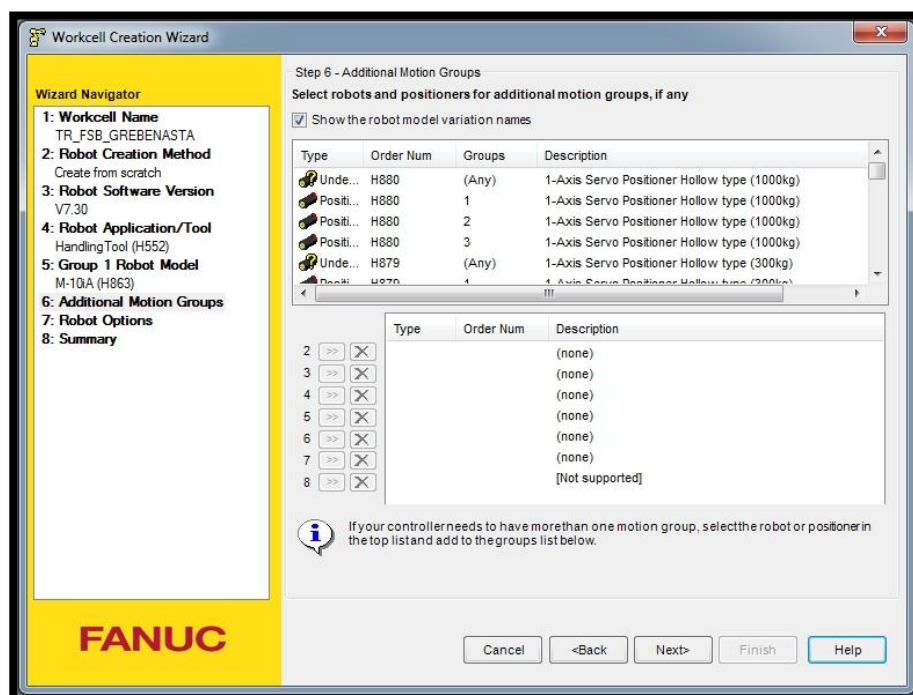
Slika 31. Izbor verzije softvera upravljačke jedinice robota

Slika 32. Izbor aplikacije – *Handling Tool*

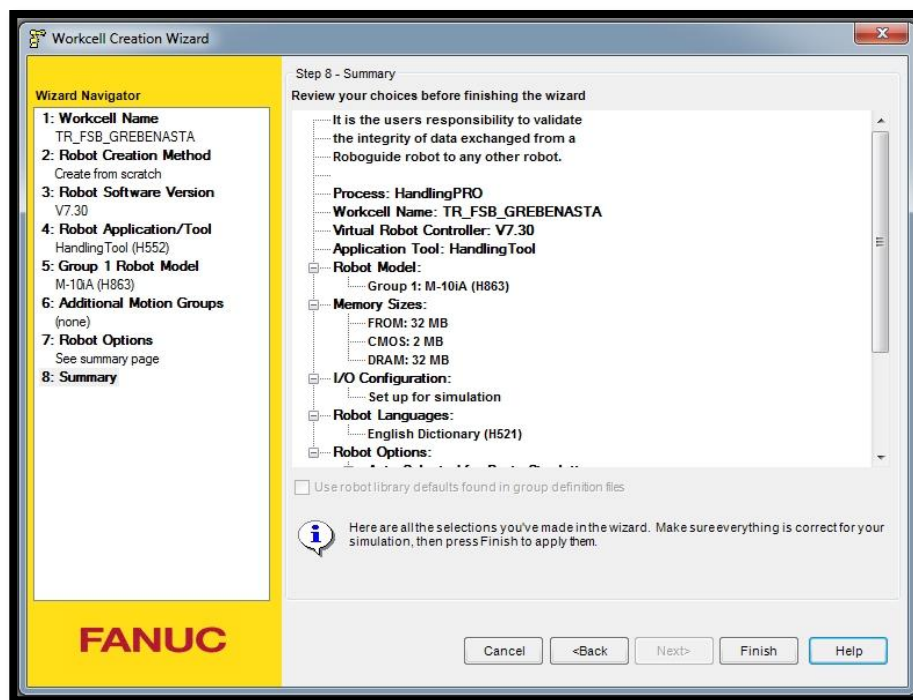


Slika 33. Izbor mehaničke jedinice robota

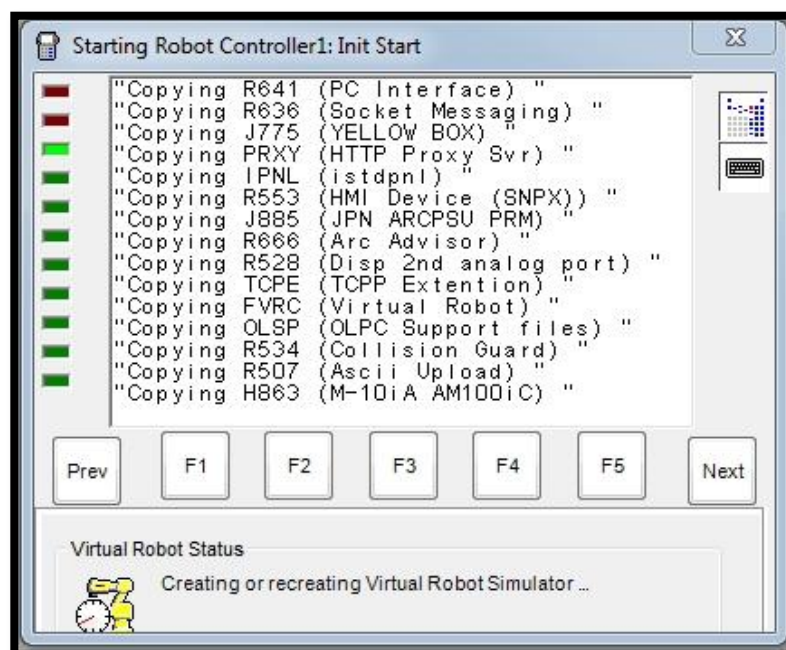
Prilikom definiranja dodatnih *motion* grupa nije ih potrebno specificirati. Ova opcija koristi se ako se želi na jednu upravljačku jedinicu robota povezati dodatne mehaničke jedinice. Tada se one pojavljuju kao dodatne *motion* grupe u upravljačkoj jedinici robota.



Slika 34. Definiranje dodatnih grupa

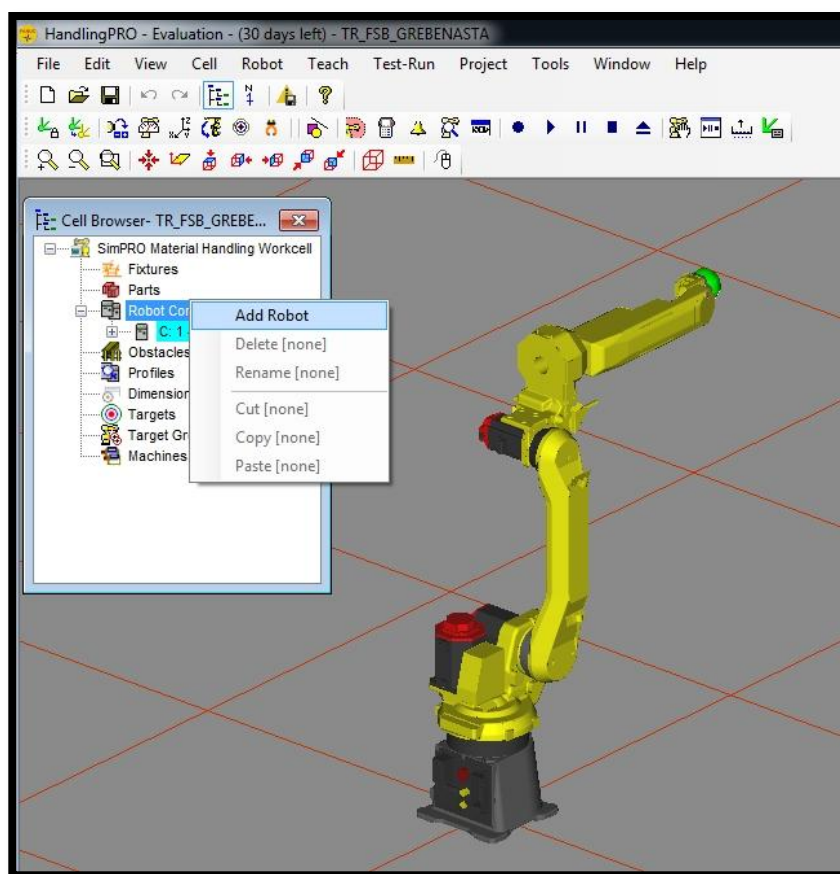


Slika 35. Sažetak konfiguracije robotske stanice



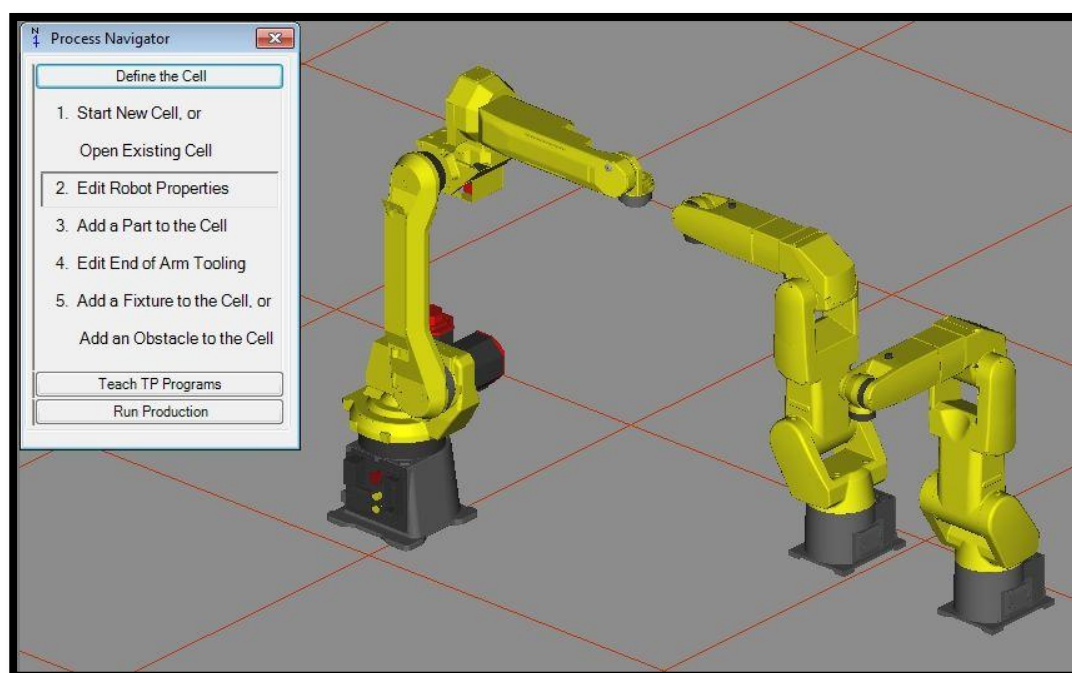
Slika 36. Inicijalizacija virtualne upravljačke jedinice

Nakon inicijalizacije upravljačke jedinice te određenih poruka na ekranu pojavljuje se radno sučelje Roboguide-a.



Slika 37. Sučelje programskog paketa Roboguide

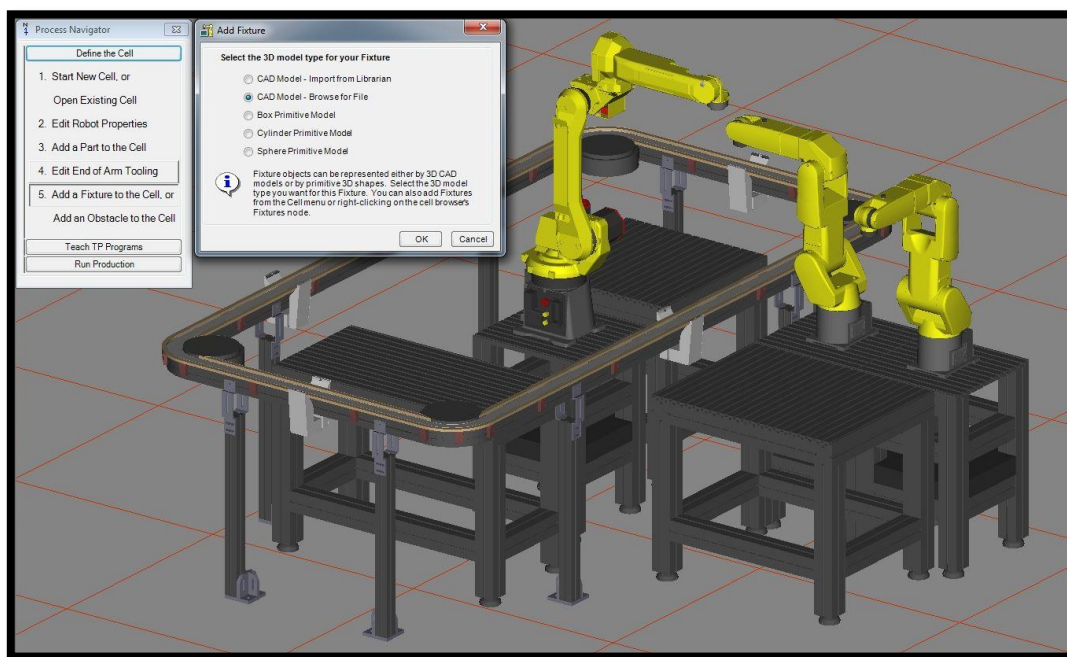
Postupak ponovimo i za ostale dvije robotske čelije.



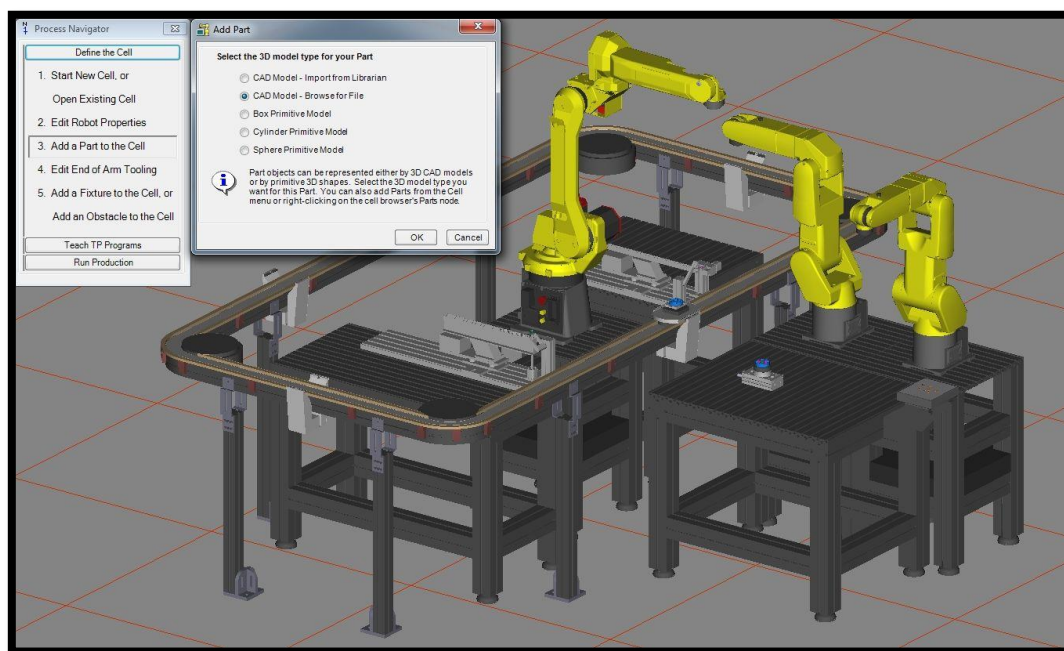
Slika 38. Process Navigator

Zatim za svakoga robota u njegovom *Process Navigator*-u možemo slijedeće:

- mijenjati postavke robota (*Edit Robot Properties*)
- dodavati dijelove kojima će robot rukovati (*Add a Part to the Cell*)
- postaviti alat na robota (*Edit End of Arm Tooling*)
- dodati fiksne dijelove u sustav kao što su postolja robota ili radni stolovi (*Add a Fixture to the Cell*)



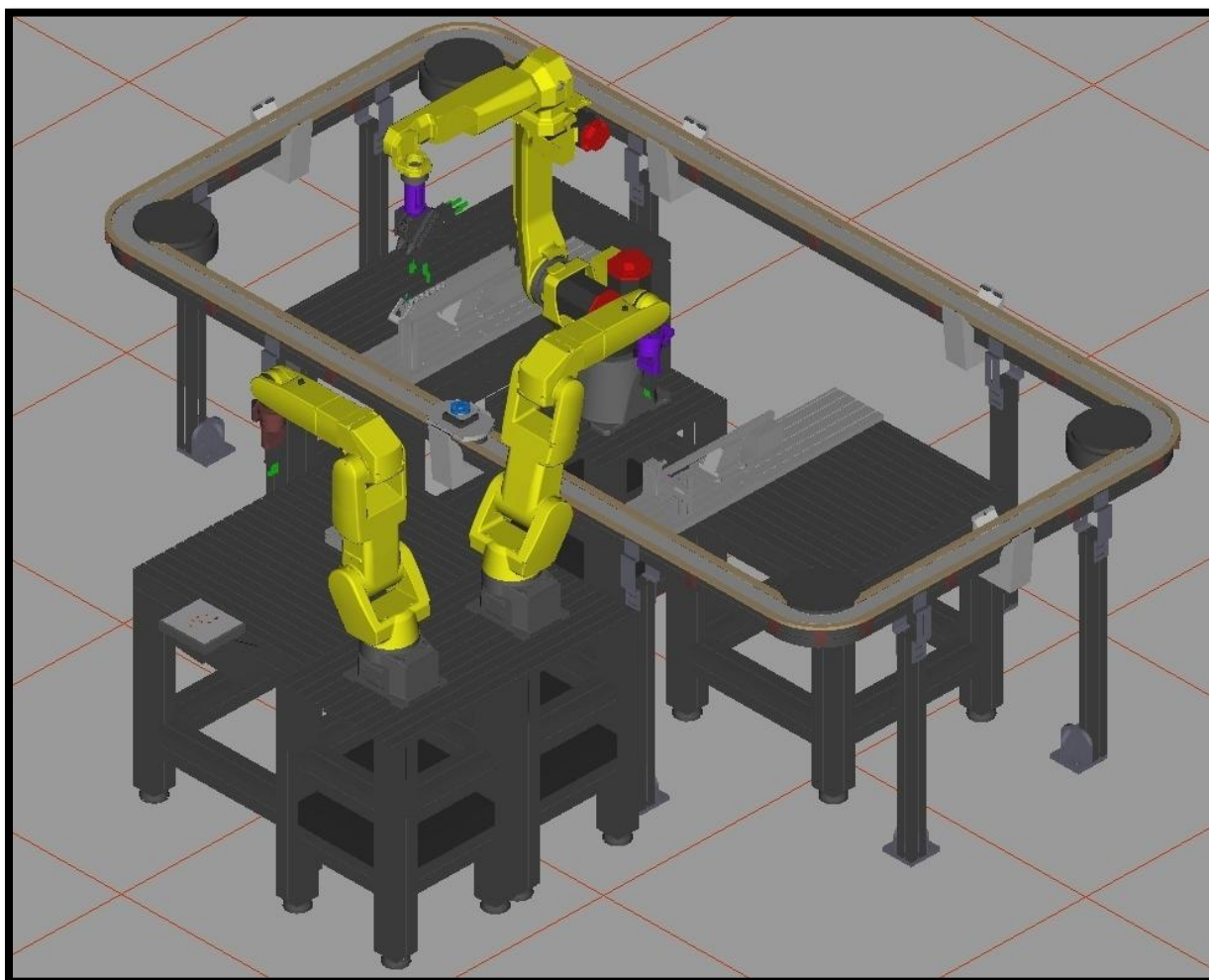
Slika 39. Dodavanje fiksnih dijelova u sustav



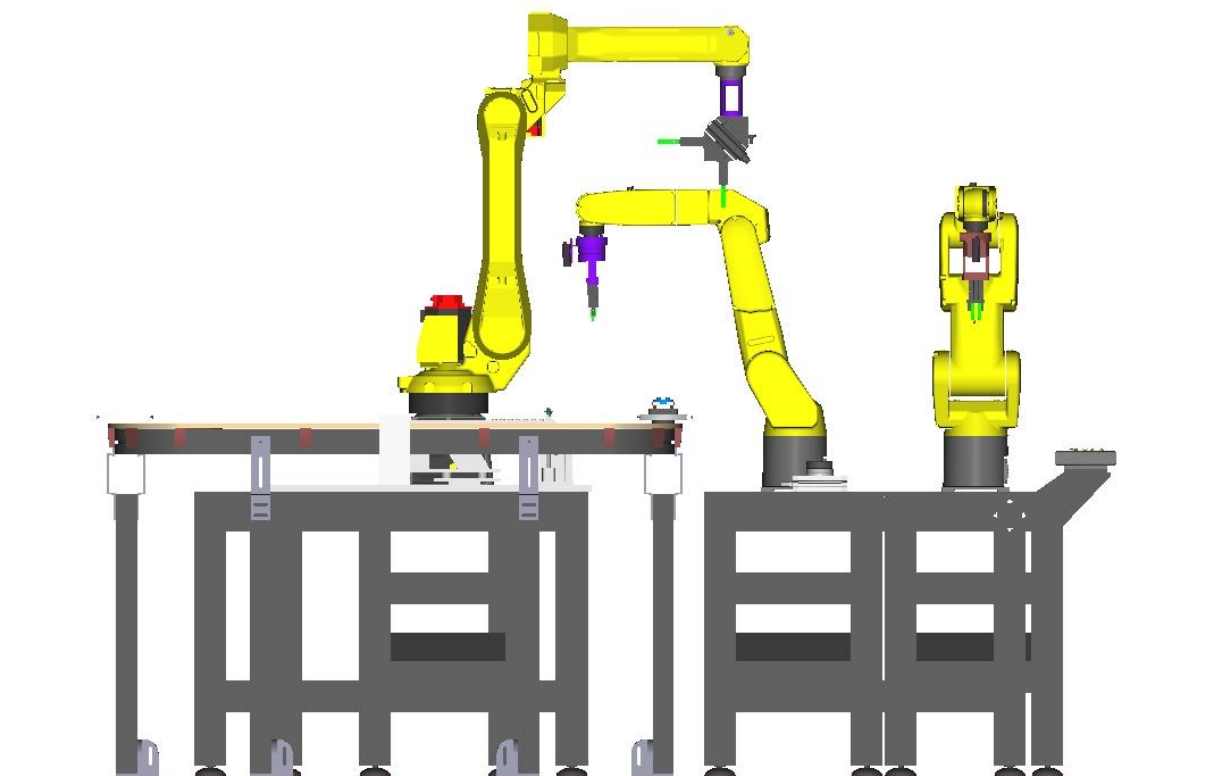
Slika 40. Dodavanje aktivnih dijelova u sustav

Za svaku prethodnu opciju potrebni su gotovi CAD modeli. Pošto su svi elementi sustava već oblikovali u programu CATIA V5R20, njih je potrebno samo prebaciti u format koji je čitljiv Roboguide-u. Jedini format koji podržavaju i CATIA i Roboguide je format s ekstenzijom *.igs* (Initial Graphics Exchange Specification). Elementi spremljeni u tom formatu mogu se učitati u sustav kao: alati robota, fiksni dijelovi sustava ili kao dijelovi kojima će robot rukovati.

Nakon učitavanja i povezivanja svih elemenata s već definiranim robotskim čelijama koje su sastavni dio Roboguide-a, dobivamo sustav koji je identičan sustavu oblikovanom u programskom paketu CATIA V5R20, te stvarnom sustavu koji se nalazi u Laboratoriju za projektiranje izradbenih i montažnih sustava. Na sljedećim slikama je nekoliko prikaza tog sustava.



Slika 41. Automatski montažni sustav, 1. Prikaz

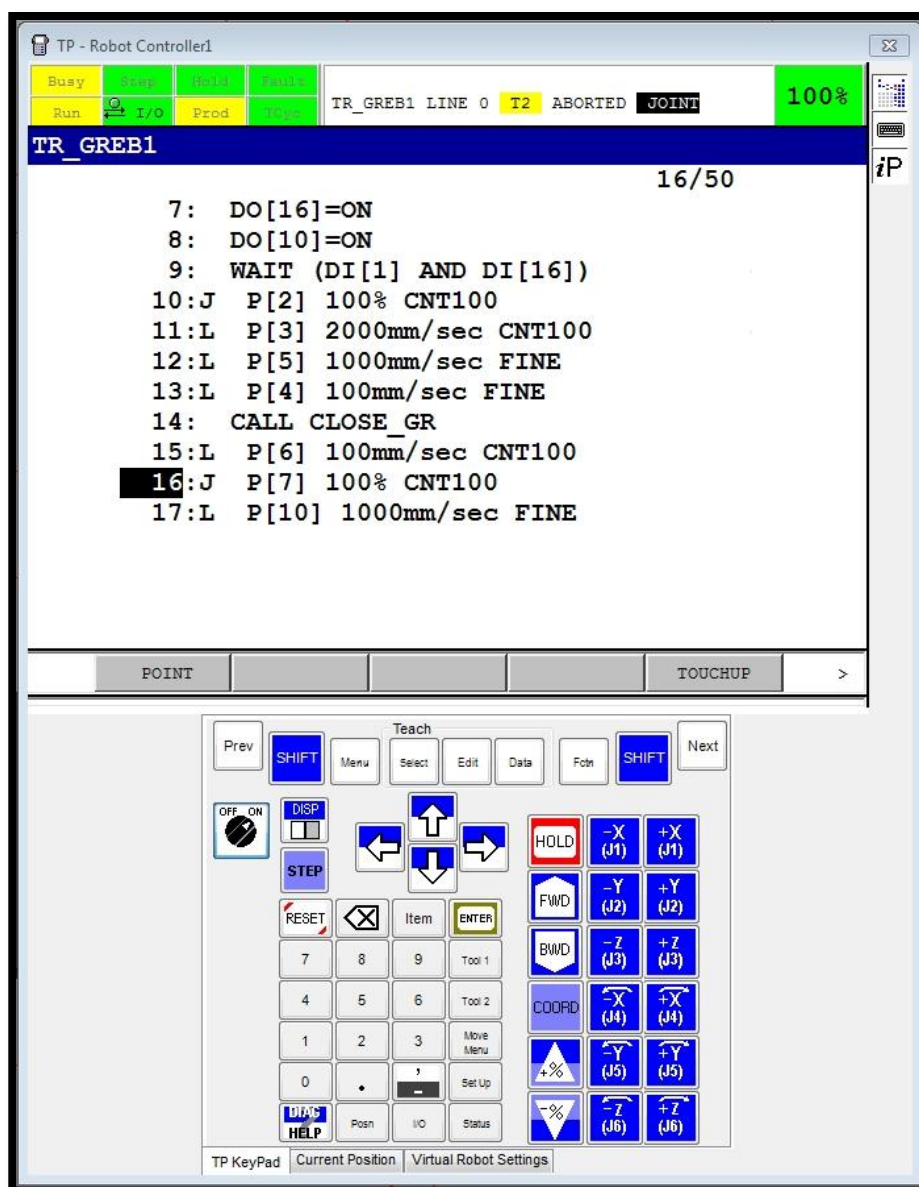


Slika 42. Automatski montažni sustav, 2. Prikaz

5.2. Upravljački programi

Pisanje upravljačkih programa na virtualnim upravljačkim konzolama je identično kao i na stvarnom robotu. Ograničeno je jedino nemogućnošću simuliranja vizijskog procesa. Isto tako digitalni signali kojima robotske jedinice međusobno komuniciraju dostupni su samo u rangu od 1 do 80. Na stvarnim upravljačkim jedinicama aktivni digitalni signali kojima roboti komuniciraju preko DeviceNeta u rangu su od 121 do 184. Taj dio naknadno je ispravljen i nadopunjen na realnom sustavu.

Način i svrha komuniciranja između robota preko digitalnih signala biti će objašnjena u 7. poglavlju.



Slika 43. Virtualna upravljačka konzola

Izradom i testiranjem upravljačkih programa u simulacijskom programu Roboguide ispitana je dostupnost određenih pozicija robotskoj ruci prilikom izuzimanja predmeta od interesa. Također je provjereno da li roboti mogu izvesti zahtjevane usklađene pokrete pri sastavljanju zadanog proizvoda, a da ne dolazi do kolizija između njih. Zaključak je da zamišljena konfiguracija robotskih jedinica i pozicije ostalih elemenata unutar automatskog montažnog sustava zadovoljavaju. Sljedeći korak je izvedba realnog sustava.²

² Video simulacije rada sustava izrađen u programu Roboguide nalazi se na CD-u u prilogu diplomskog rada.

6. PRIPREMA I KALIBRACIJA STVARNOG ROBOTSKEG SUSTAVA

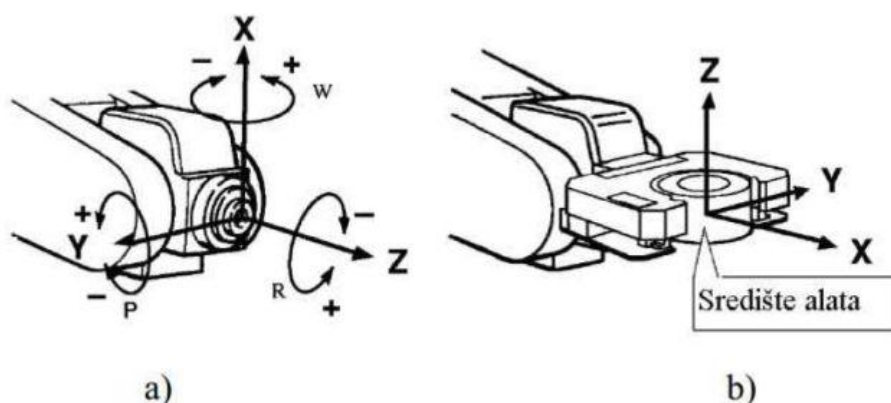
U daljnjem tekstu uvedena je konvencija označavanja robota kako bi znali na kojeg se odnosi pojedini naziv. Robot LRMate 200iC koji izvršava rukovanje sa ugradbenim elementom opruga je Robot 1. Drugi robot istog tipa koji izvršava rukovanje sa potisnicima je Robot 2. M-10iA robota koji rukuje kućištem grebenaste sklopke, razdjelnom zvijezdom i gotovim proizvodom je Robot 3.

6.1. Robot 1

Da bi robot uopće mogao izvršiti svoj zadatak potrebno je na njega postaviti odgovarajući alat. U tu svrhu izrađeni su upravljački algoritmi za izmjenu alata koje pozivamo po potrebi. Kako je zamišljeno da Robot 1 u ovom zadatku rukuje sa oprugama kao ugradbenim elementima grebenaste sklopke, na njega je postavljena pneumatska prihvatačica proizvođača SMC. Na prihvatačici se nalaze prsti posebno oblikovani za prihvatanje opruge. Nakon postavljanja alata Robot 1 spreman je za njegovu kalibraciju i izradu korisničkog koordinatnog sustava, te učenje vizijskog procesa.

6.1.1. Izrada korisničkog koordinatnog sustava alata (TOOL FRAME)

Točnost robotskog sustava ovisi o nizu utjecaja kao što su tvornička kalibracija robota, kalibracija koordinatnog sustava alata, kalibracija korisničkog koordinatnog sustava. Stoga je neophodno što bolje definirati središte alata kako bi se što kvalitetnije i točnije mogli obavljati postupci rukovanja ugradbenim elementima proizvoda. Koordinatni sustav alata određuje "nul točka alata" tj. TCP (*Tool Center Point*). Koordinatno ishodište tvornički je postavljeno na sredinu priрубnice šeste osi robota i njega je potrebno pomaknuti u nul točku alata. Nakon toga stvaran položaj korisnički određenog koordinatnog sustava alata je relativni razmak i orijentacija s obzirom na tvornički podešen koordinatni sustav alata.



Slika 44. a) Točka prihvata alata b) Koordinatni sustav središta alata[10]

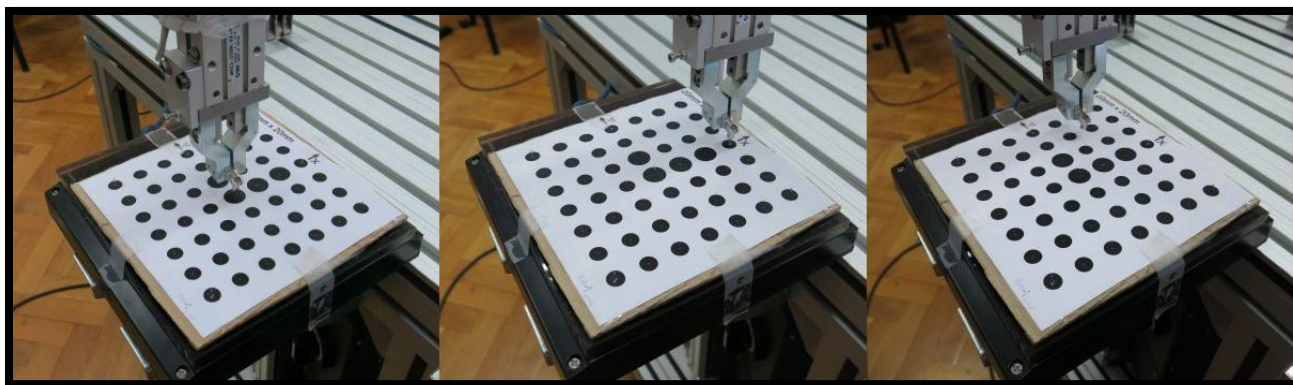
Kod postupka kalibracije alata korištena je metoda tri točke. Vrhom alata dolazi se u istu točku prostora u tri različite konfiguracije Robota 1. Prva konfiguracija robota i fiksna točka u prostoru odabiru se proizvoljno (Slika 44. lijevo). Druga točka pamti se nakon što se u JOINT koordinatnom sustavu zarotira šesta os robota za više od 90° i manje od 360° (Slika 44. sredina). Za treću točku zarotira se os četiri ili pet za manje od 90° . (Slika 44. desno) Nakon što su točke snimljene definiran je korisnički koordinatni sustav alata i time je završena kalibracija alata.



Slika 45. Kalibracija alata - metoda tri točke

6.1.2. Izrada korisničkog koordinatnog sustava (USER FRAME)

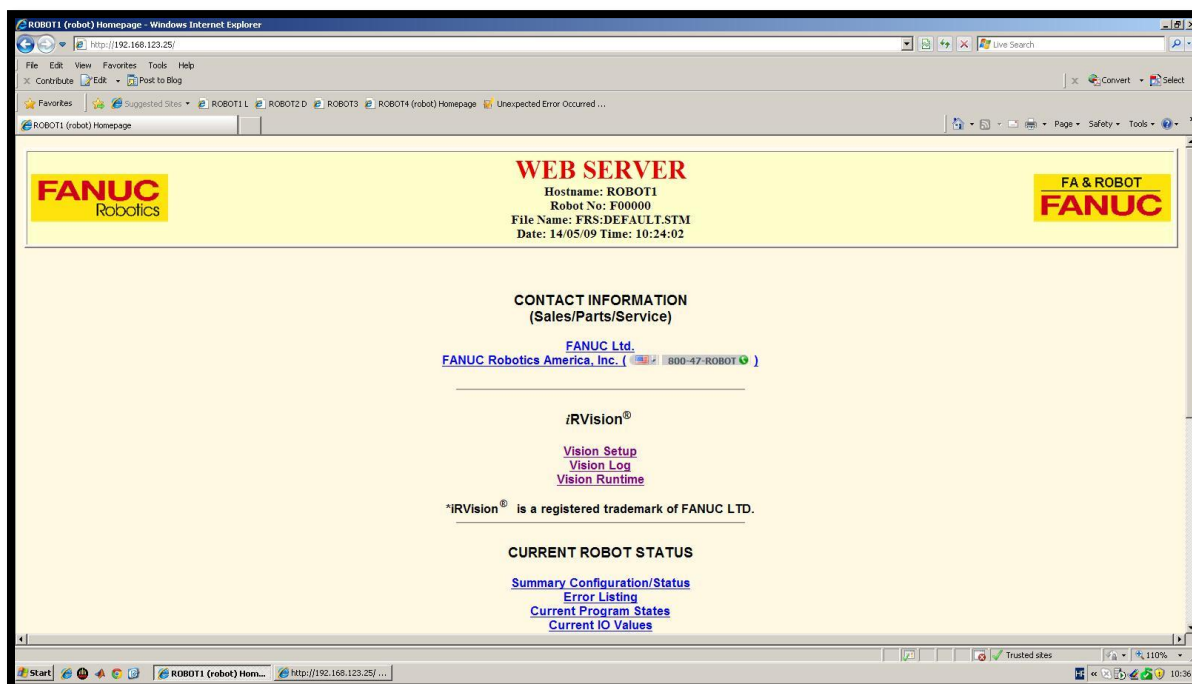
Za pripremu Robota 1 za rad sa oprugama u nestrukturiranoj okolini potrebno je kreirati korisnički koordinatni sustav. Koordinatni sustav veže se za gornju plohu stola sa pozadinskim osvjetljenjem jer će se u toj ravnini kalibrirati vizijski sustav. Kod izrade je korištena metoda tri točke. Za prvu točku postavlja se TCP robota u ishodište budućeg korisničkog koordinatnog sustava (Slika 45. lijevo). Zatim se TCP robota pomiče i sprema točka u željenom pravcu $X+$ (Slika 45. sredina) i za zadnju točku pamti se bilo koja pozicija na budućoj XY ravnini (Slika 45. desno).



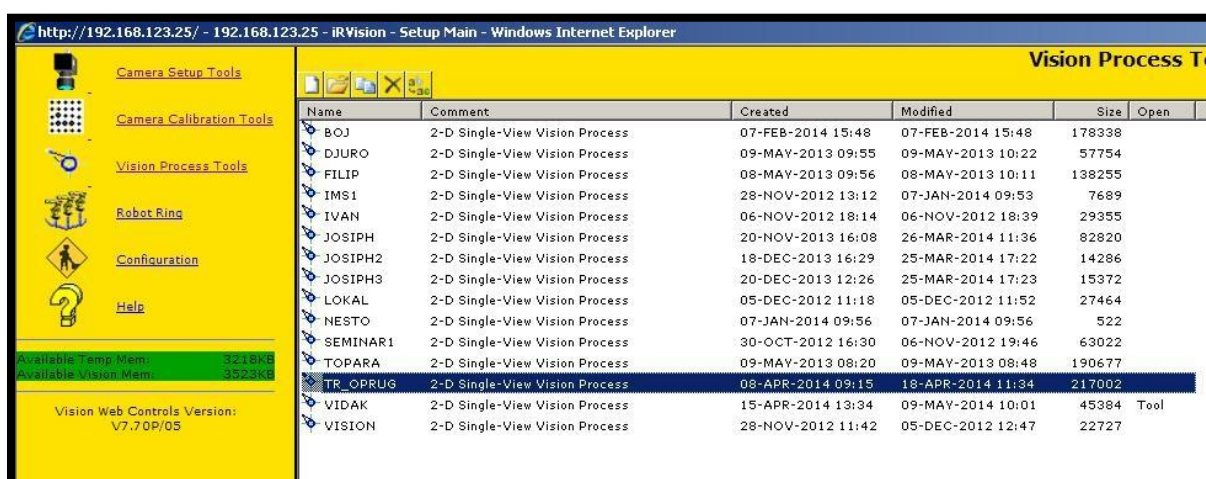
Slika 46. Definiranje korisničkog koordinatnog sustava

6.1.3. Kalibracija vizijskog sustava

Programsko sučelje vizijskog sustava *iRVision* integriranog na upravljačkoj jedinici robota otvara se preko *MS Internet Explorer*-a upisom mrežne IP adrese Robota 1. Odabire se opcija *Vision Setup* u kojoj se uređuju postavke kamere, vrši kalibracija sustava i kreira program za prepoznavanje predmeta od interesa.

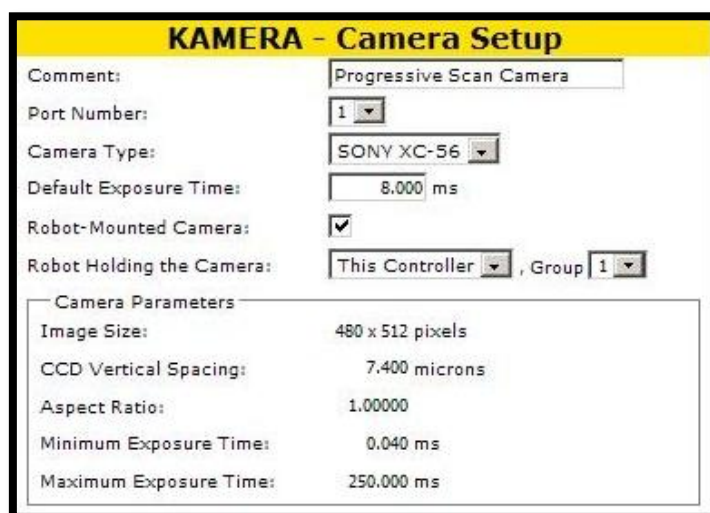


Slika 47. Pristup vizijskom sustavu



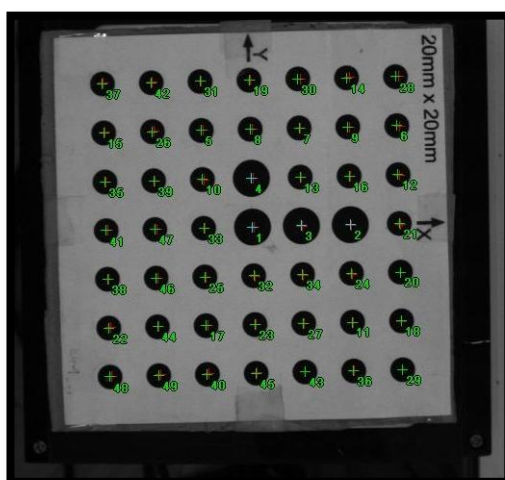
Slika 48. *iRVision* sučelje

Prvi korak je uređivanje postavki kamere. U izborniku *Camera Setup Tools* nalaze se postavke i informacije o odabranoj kameri. Korištena kamera je Sony XC-56 i ona je montirana na prihvatnicu robota, stoga se u postavkama odabire opcija *Robot Mounted Camera*. Za *Default Exposure Time*, odnosno vrijeme ekspozicije odabire se 8 milisekundi. Podešavanje ovog izbornika time je završeno.



Slika 49. *Camera Setup Tools*

Drugi korak je kalibracija odabrane kamere. Za dobru kalibraciju potrebno je precizno postaviti kalibracijsku mrežu u ravninu u kojoj će se vršiti traženje predmeta od interesa. U ovom radu predmet od interesa se nalazi na stolu s pozadinskim osvjetljenjem i na njega se postavlja kalibracijska mreža. Odabrana je kalibracijska mreža u kojoj su kalibracijski krugovi udaljeni 20mm jedan od drugoga.



Slika 50. Kalibracijska mreža

Odabirom izbornika *Camera Calibration Tools* pristupa se postavkama kalibracije kamere uz pomoć odabrane kalibracijske mreže. U postavkama odabire se kamera definirana u prvom koraku. Vrijeme ekspozicije postavljeno je na 8 milisekundi. Pod opcijom *User Frame* odabran je korisnički koordinatni sustav. On je u upravljačkoj jedinici spremljen pod mjestom "user frame 3". U *Grid Spacing* opciju upisana je vrijednost razmaka između krugova odabrane kalibracijske mreže.

TR_CALIB - Grid Pattern Calibration

Status: Not Trained
Comment: Grid Pattern Calibration Tool

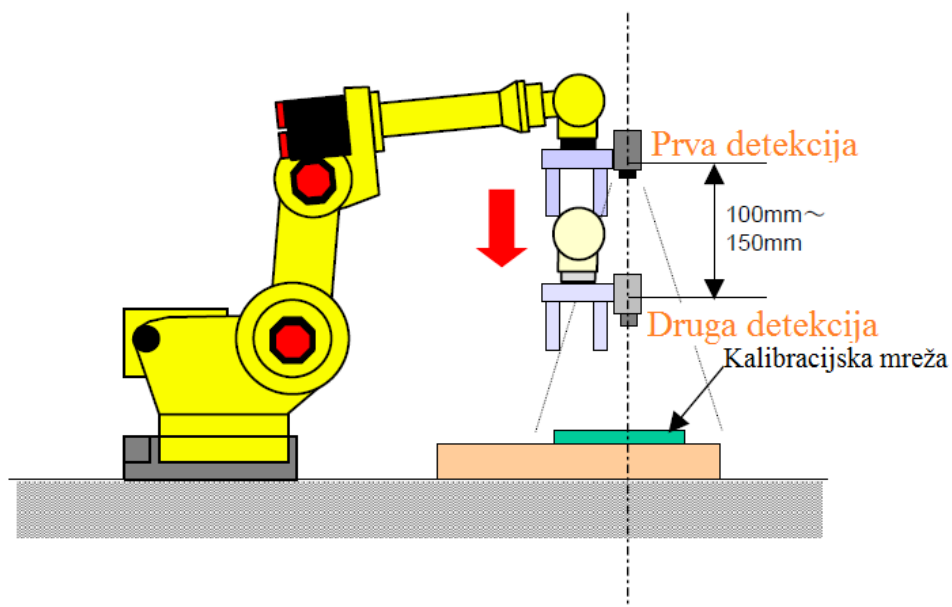
Setup Data Points

Camera: KAMERA Trained
Exposure Time: 8,000 ms
Robot to be offset: This Controller ,Group 1
Application Frame: User Frame: 3
Grid spacing: 20.0 mm
Number of Planes: 2
Calib. Grid Held By Robot: No
Robot Holding Fixture: This Controller ,Group 1
Calibration Grid Frame: User Frame: 3
Projection: Perspective
Override Focal Distance: No Focal Dist.: 12.6 mm
Status of fixture position: Set
1st Plane Found
2nd Plane Found

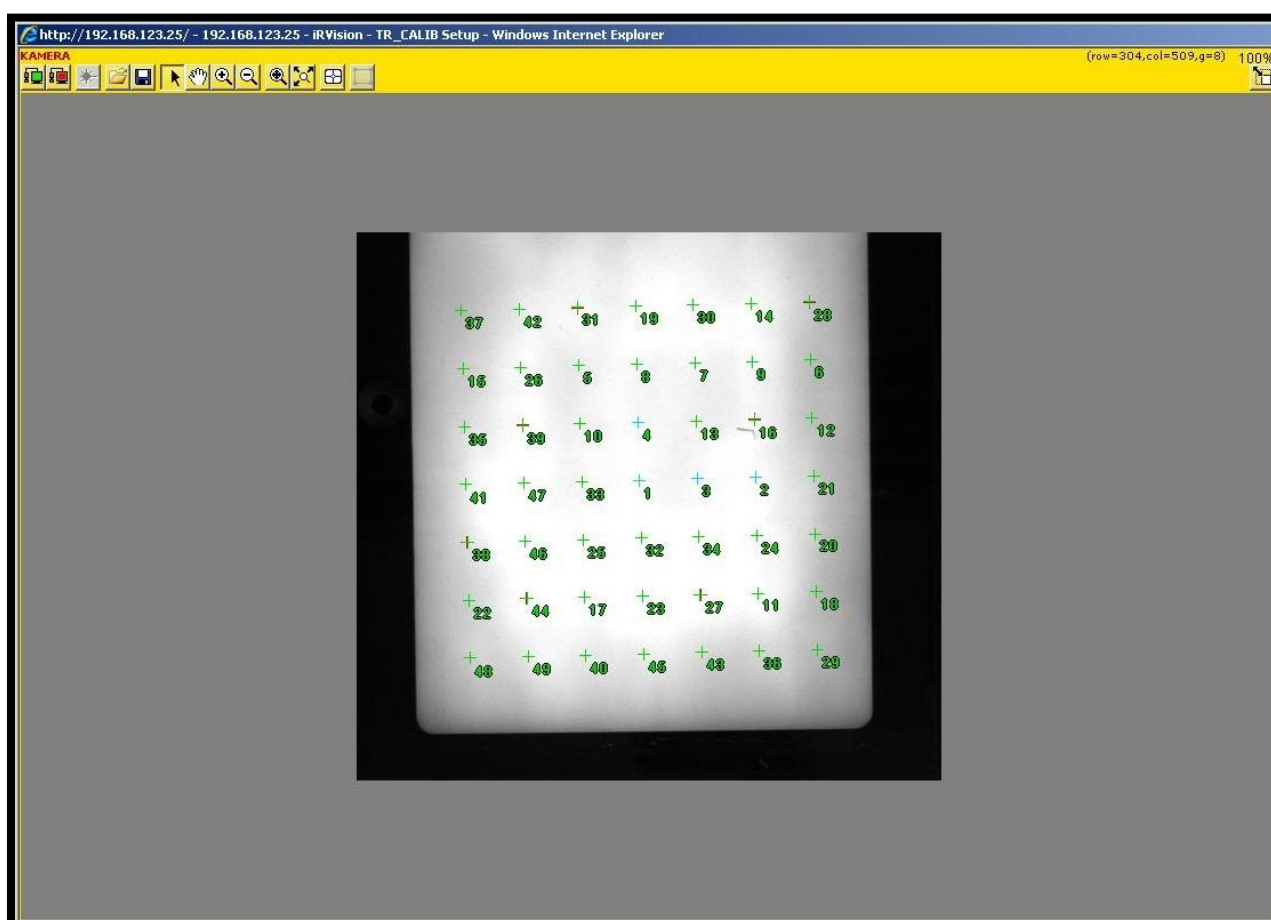
Set Frame
Find
Find

Slika 51. *Camera Calibration Tools*

Vidno polje kamere potrebno je smjestiti iznad postavljene kalibracijske mreže na način da su vidljivi svi krugovi mreže. Kada je mreža u vidnom polju vrši se prva detekcija. Odabire se "1st Plane - Find". Zatim se kamera postavlja prema slici 51. u položaj druge detekcije. Odabire se "2nd Plane - Find". Nakon što su obavljene detekcije pritiskom na tipku "Set Frame" završava se kalibracija kamere.



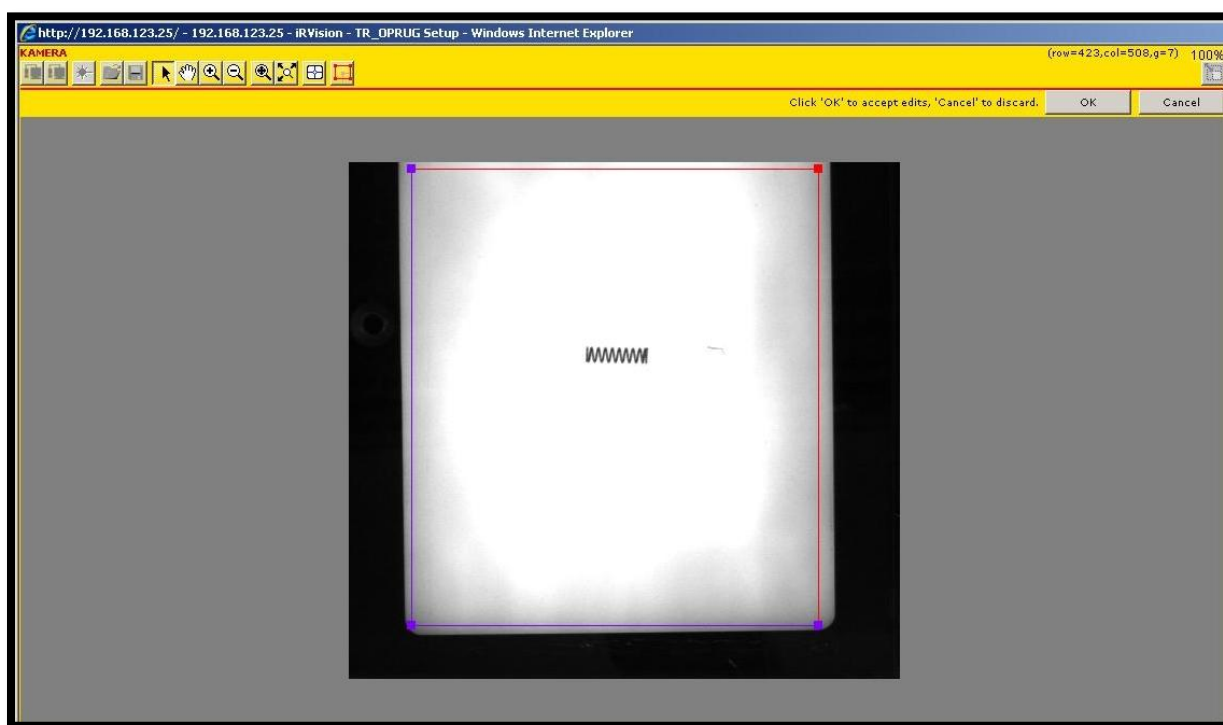
Slika 52. Postupak kalibracije kamere [11]



Slika 53. Vidno polje kalibrirane kamere

Zadnji korak je učenje vizijskog procesa. Potrebno je naučiti kameru da prepozna, te odredi položaj i orijentaciju predmet od interesa. Među postavkama vizijskog procesa, odabire se odgovarajuća kalibracija kamere za proces, postavlja se vrijeme ekspozicije ovisno o svjetlosnim uvjetima i upisuje se model prema kojem se robot pomiče u određenu poziciju. Da bi vizijski proces bio valjan potrebno je definirati GPM lokacijaki alat (*Geometric Pattern Match Tool*). On traži uzorak koji se podudara sa već prethodno naučenim uzorkom i otkriva trenutnu poziciju predmeta od interesa. Potrebno je odrediti geometrijske značajke prema kojima će se taj predmet prepoznavati.

Pritiskom na tipku *Teach Pattern* pojavljuje se crveni okvir u vidnom polju kamere pomoću kojega se označi predmet za kojeg se želi naučiti uzorak.

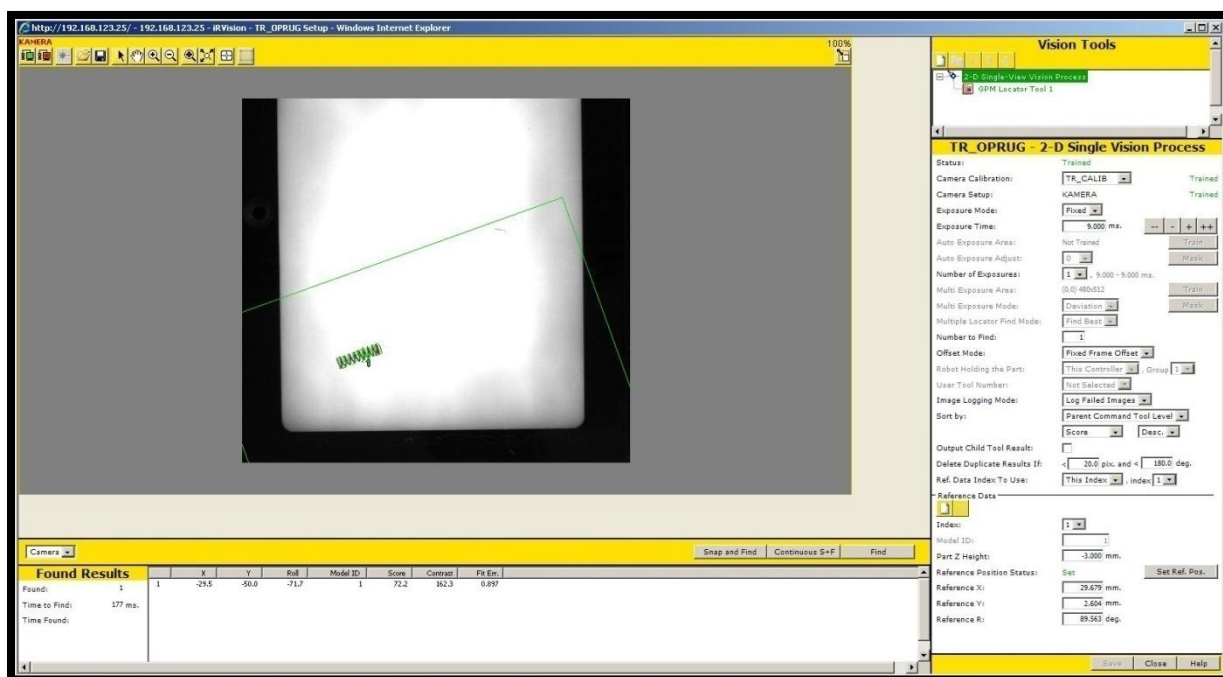


Slika 54. *Teach Pattern*

Opcijom *Training Mask* program pronalazi sve značajke unutar okvira koji je prethodno definiran. Ona područja koja su nestabilna, koja se pri maloj promjeni svjetlosnih uvijeta teže prepoznaju, se brišu. Ostavljaju se ona područja koja su ključna za prepoznavanje položaja i orijentacije predmeta od interesa. Kako je opruga jednostavnog oblika i bez neke specifične značajke na koju bi se moglo pozvati sva prepoznata područja ostavljaju se aktivnima.

Stavka *Part Z Height* predstavlja visinu predmeta koji se traži i udaljenost je između XY ravnine korisničkog koordinatnog sustava i ravnine u kojoj se mjeri pozicija predmeta. Upisom te vrijednosti mogu se povezati podatci pomaka, koji su dobiveni pomoću kamere, sa onima iz realnog svijeta.

Pritiskom na tipku *Snap and Find* automatski se upisuju vrijednosti X i Y osi i rotacije oko osi Z. Nakon toga definira se referentni položaj u odabranom korisničkom koordinatnom sustavu pritiskom na tipku *Set reference position*. Nakon definiranja referentnog položaja potrebno je robotsku ruku dovesti u položaj prihvata predmeta i upamtiti tu točku. Time je učenje vizijskog procesa gotovo i Robot 1 je spreman za pokretanje upravljačkog algoritma.



Slika 55. Pronalaženje opruge

6.2. Robot 2

Situacija kod Robota 2 je jednostavnija jer nema upotrebe vizijskog sustava i nje potrebno definirati nul točku alata i korisnički koordinatni sustav. Razlog tome je uvijek ista pozicija izuzimanja i postavljanja elementa rukovanja. Dakle korisnički koordinatni sustav alata je jednak tvornički postavljenom, u sredini prirubnice šeste osi robota, a korisnički koordinatni sustav u odnosu na koji će se gibati nul točka alata je također tvornički definiran. Na zapešću robota montirana je pneumatska priхватnica proizvođača SMC i na njoj se nalaze posebno oblikovani prsti za rukovanje potisnikom.

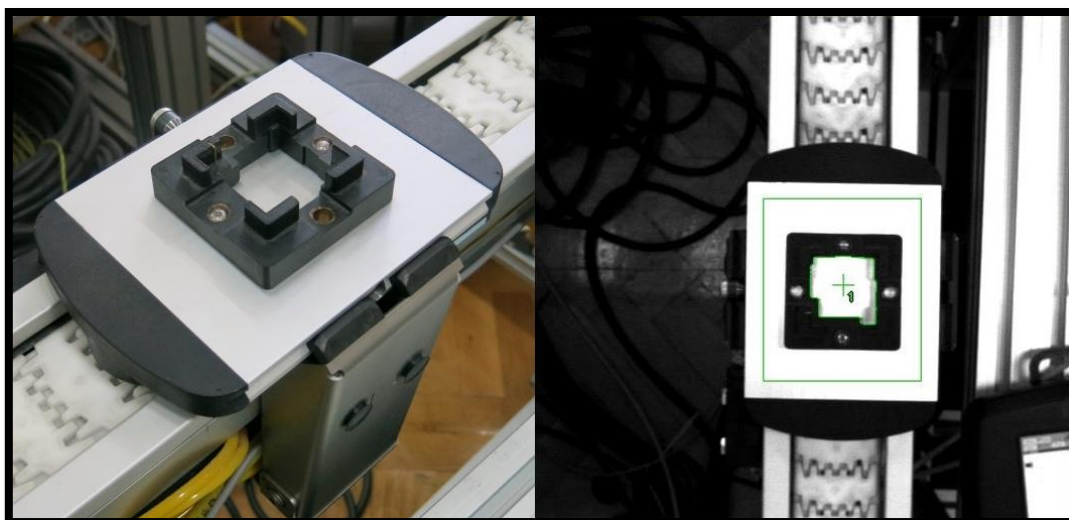
6.3. Robot 3

Robot 3 u montažnom procesu obavlja tri zadaće. Za izvođenje svojih zadaća koristi pneumatsku okretnu glavu i vizijski sustav s kamerom montiranom na robotsku ruku. Pneumatska okretna glava može zauzeti dva položaja. U prvom položaju se koristi pneumatska priхватnica s prstima oblikovanim za rukovanje kućištem grebenaste sklopke. Kada se okretna glava prebaci u drugi položaj, za uporabu je spremna pneumatska priхватnica s prstima oblikovanim za rukovanje razdjelnom zvijezdom.



Slika 56. Okretna glava: položaj 1 -lijevo, položaj 2 -desno

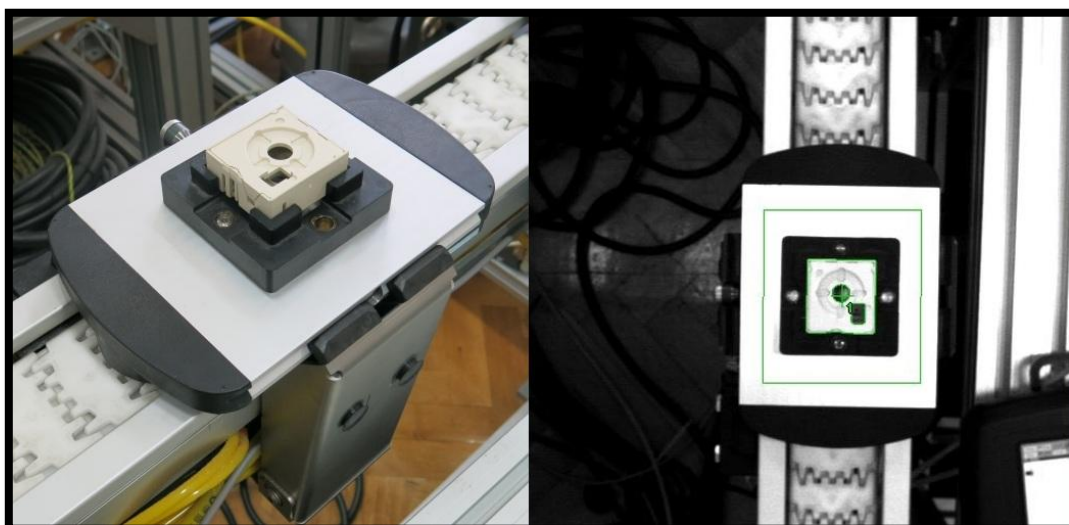
Prije rukovanja kućištem grebenaste sklopke ili razdjelnom zvijezdom robotsku ruku dovodimo u položaj za vizijski proces. Zadatak vizijskog procesa koji se provodi na upravljačkoj jedinici Robota 3 je prepoznavanje predmeta na transportnoj traci. Za to nam nije potrebna kalibracija kamere kao ni definiranje nul točki alata ili korisničkog koordinatnog sustava. Ukoliko u stanicu transportne trake dođe krivi tip palete ili proizvoda u paleti, potrebno je otvoriti stanicu i propustiti tu paletu. Vizijski proces je naučen da prepoznaje pet različitih situacija od kojih je samo jedna ispravna.



Slika 57. Slučaj 1.



Slika 58. Slučaj 2.



Slika 59. Slučaj 3.



Slika 60. Slučaj 4.



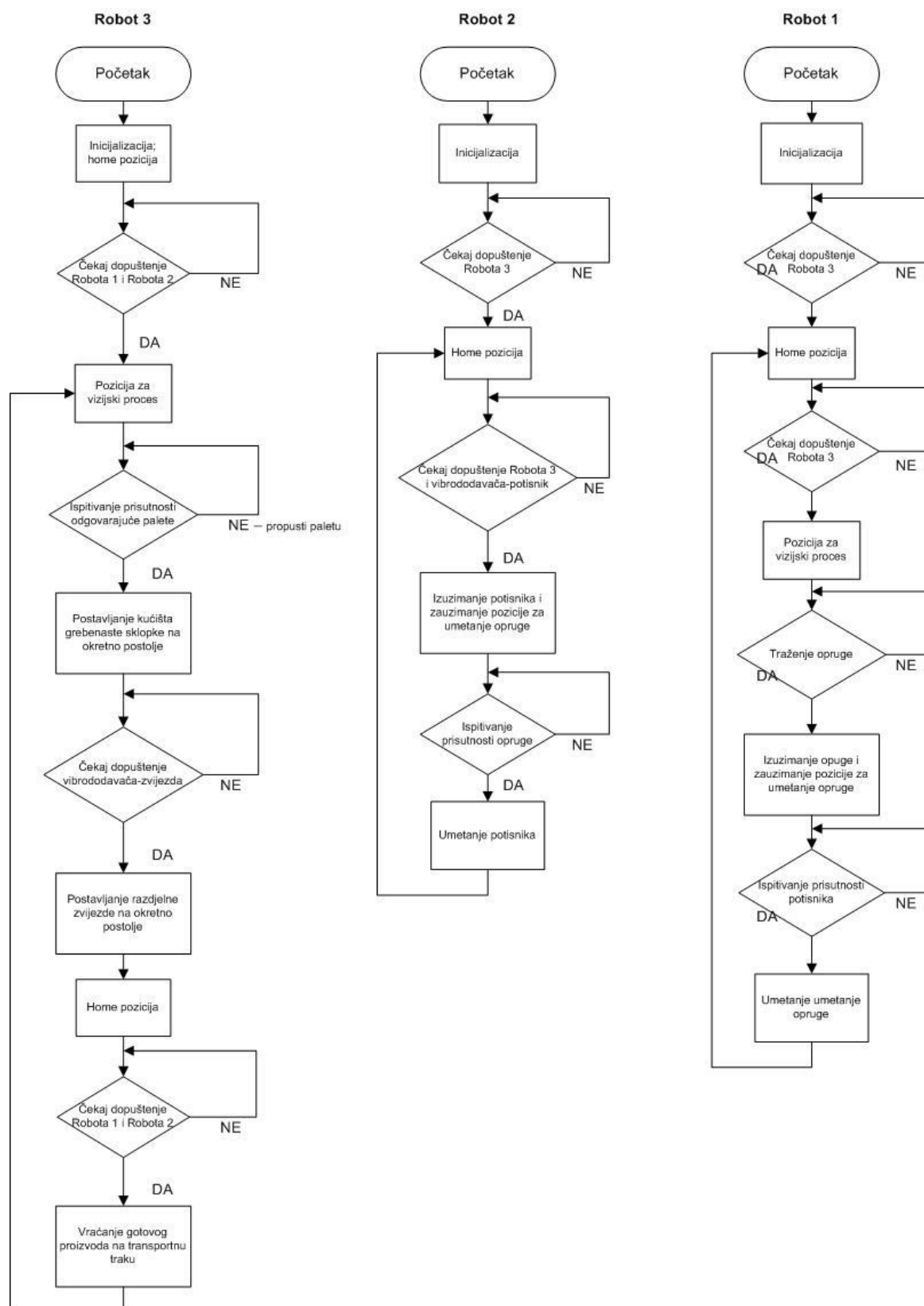
Slika 61. Slučaj 5.

Kada se prepozna odgovarajući element u paleti, u ovom slučaju kućište grebenaste sklopke (Slika 61.), stanica se zatvara te započinje proces montaže proizvoda. Kako je to izvedeno u upravljačkom programu bit će prikazano u sljedećem poglavlju.

7. UPRAVLJAČKI ALGORTIMI I KOMUNIKACIJA ROBOTSKEG SUSTAVA

Da bi se sustav automatske montaže mogao pustiti u pogon potrebno je izraditi kvalitetne upravljačke programe. Roboti koji rukuju zadanim predmetima moraju međusobno izmjenjivati informacije o procesu, te svojim stanjima i položajima. Ta komunikacija se sastoji od slanja i primanja digitalnih signala između robota i njihove periferije. Izmjenom digitalnih signala uspostavljamo tzv. *handshake* između robotskih jedinica. Kada roboti imaju npr. zajedničko radno područje, digitalnim signalom možemo zabraniti jednom robotu ulazak u prostor u kojem drugi robot trenutno obavlja neku zadaću. Isto tako dobrom se komunikacijom može uspostaviti usporedni rad robota. Pri tome se moraju izbjegavati kolizije između robota. Digitalnim signalima daje im se do znanja i kada su elementi kojima rukuju spremni za preuzimanje.

U sustavu automatske montaže grebenaste sklopke kojim se bavi ovaj rad vrši se komunikacija između tri robotske jedinice, transoportnog sustava, vibracijskih dodavača, okretnog postolja i stola s pozadinskim osvjetljenjem. Prije izrade upravljačkih programa koji reguliraju navedene uređaje potrebno je napraviti plan toka operacija koje će se izvršavati prilikom montaže. Na slici 62. prikazan je dijagram toka izvođenja nekih ključnih operacija automatske montaže grebenaste sklopke.



Slika 62. Dijagram toka automatske montaže grebenaste sklopke

U nastavku su priloženi upravljački programi za rad robota. Programi su koncipirani tako da se sastoje od jednog glavnog programa po upravljačkoj jedinici i više potprograma koji izvršavaju uglavnom operacije koje se ponavljaju u procesu montaže. Inicijalizacija korištenih digitalnih signala i operacije otvaranja i zatvaranja hvataljki nalaze se u makroima. Kako bi se priloženi programi laše razumjeli uz njih se nalaze objašnjenja za pojedine dijelove procesa montaže.

7.1. Upravljački program na Robotu 3

TR GREB3

UFRAME_NUM=0
UTOOL_NUM=0
CALL TR_MAKRO3

~ definiranje koordinatnog sustava
~ definiranje koordinatnog sustava alata
~ pozivanje makroa za gašenje signala

J P[1:HOME] 100% FINE
CALL GR_HV
CALL GR_HV_OP
CALL GR_SK_OP

~ pozivanje makroa za postavljanje okretne glave u prvi položaj i makroa za otvaranje prihvatnica

DO[141]=ON
DO[131]=ON
DO[132]=PULSE, 0.2sec

~ signal ima stanje logičke jedinice u trajanju od 0.2 sekunde

WAIT(DI[131] AND DI[141])
CALL TR_MAKRO

~ WAIT funkcija čeka da se zadovolje oba uvijeta tj. da se upale digitalni ulazi

LBL[99]
J P[2] 100% FINE
LBL[64]
LBL[63]
CALL TR_MAKRO3

VISION RUN_FIND 'TR_GREB'

~ pokretanje vizijskog procesa za traženje

VISION GET_OFFSET 'TR_GREB'
 : VR[1] JMP LBL[64]
 R[142]=VR[1].MODELID
 IF R[142]=1, JMP LBL[1]
 IF R[142]=2, JMP LBL[2]
 IF R[142]=3, JMP LBL[2]
 IF R[142]=4, JMP LBL[2]
 IF R[142]=5, JMP LBL[2]

LBL[2]

DO[142]=ON
 WAIT 3.00sec
 JMP LBL[63]

LBL[1]

L P[3] 2000mm/sec FINE
 L P[4] 100mm/sec FINE
 CALL GR_HV_CL
 L P[3] 500mm/sec FINE
 J P[5] 100% FINE
 L P[6] 100mm/sec FINE
 CALL GR_HV_OP
 L P[5] 500mm/sec FINE
 J P[7] 100% CNT100
 J P[8] 100% CNT100
 CALL GR_SK
 J P[9] 100% FINE
 WAIT DI[132]=ON

L P[10] 500mm/sec CNT100
 L P[11] 100mm/sec FINE
 CALL GR_SK_CL
 L P[10] 500mm/sec FINE
 DO[132]=PULSE, 0.2sec
 J P[12] 100% CNT100
 J P[13] 100% FINE
 L P[14] 100mm/sec FINE

odgovarajuće palete u stanici transportnog sustava

~ informacije dobivene od vizijskog procesa se zapisuju u vizijski registar

~ modelid sadrži redni broj jednog od pet slučajeva mogućih paleta. Ako mu je vrijednost 2, 3, 4 ili 5 program skače na LBL[2]

~ paljenjem ovog signala propustit će se paleta koja se trenutno nalazi u stanici transportnog sustava

~ u ovom slučaju paleta je odgovarajuća i u njoj se nalazi kućište grebenaste sklopke

~ Robot 3 prenosi kućište na okretno postolje

~ Robot 3 kreće po razdjelnu zvijezdu koja se nalazi u vibracijskom dodavaču

~ Robot 3 čeka dopuštenje vibracijskog dodavača za izuzimanje zvijezde

~ aktiviranjem ovog signala uvlači se cilindar na vibracijskom dodavaču koji opet izlazi van kada sljedeća zvijezda aktivira senzor

CALL GR_SK_OP

L P[13] 500mm/sec FINE

J P[1:HOME] 100% FINE

CALL GR_HV

DO[133]=ON

DO[143]=ON

~ nakon postavljanja zvijezde na okretno postolje Robot 3 odlazi u *home* poziciju i šalje Robotima 1 i 2 dopuštenja za rad

WAIT (DI[133] AND DI[143])

CALL TR_MAKRO3

J P[5] 100% FINE

L P[6] 100mm/sec FINE

CALL GR_HV_CL

L P[5] 500mm/sec FINE

J P[3] 100% FINE

L P[4] 100mm/sec FINE

CALL GR_HV_OP

L P[3] 500mm/sec FINE

DO[142]=ON

J P[2] 100% FINE

DO[135]=ON

DO[144]=ON

~ sada Robot 3 čeka od Robota 1 i 2 dopuštenje za rad. Kada dobije signale od oba robota zna da je proces montaže gotov, te odlazi po sklop koji se nalazi na okretnom postolju

~ sklop postavlja na transportnu traku

~ aktivira se signal koji u *background* logici Robota 2 aktivira drugi signal koji otpušta paletu iz stanice transportnog sustava

JMP LBL[99]

~ funkcija JMP LBL[99] vraća program na početak ciklusa automatske montaže

MAKRO3

DO[131]=OFF

DO[132]=OFF

DO[133]=OFF

DO[135]=OFF

DO[141]=OFF

DO[142]=OFF

DO[143]=OFF

DO[144]=OFF

~ svi korišteni signali gase se na početku glavnog programa iz sigurnosnih razloga

7.2. Upravljački program na Robotu 2

TR_GREB2

UFRAME_NUM=0

UTOOL_NUM=0

CALL MAKRO2

WAIT DI[141]=ON

DO[184]=PULSE, 0.2sec

J P[1:HOME] 100% FINE

CALL GR_OP

DO[141]=ON

LBL[99]

CALL UP1

CALL UP2

CALL UP1

CALL UP3

CALL UP1

CALL UP2

CALL UP1

CALL UP3

J P[2] 100% FINE

DO[141]=ON

JMP LBL[99]

UP1

UFRAME_NUM=0

UTOOL_NUM=0

CALL GR_OP

~ definiranje koordinatnog sustava

~ definiranje koordinatnog sustava alata

~ pozivanje makroa za gašenje signala

~ čekanje dopuštenja za rad od Robota 3

~ aktiviranjem ovog signala uvlači se cilindar na vibracijskom dodavaču koji opet izlazi van kada sljedeći potisnik aktivira senzor

~ slanje dozvole za rad Robotu 3

~ pozivanje potprograma

~ slanje dozvole za rad Robotu 3

~ funkcija JMP LBL[99] vraća program na početak ciklusa automatske montaže

~ definiranje koordinatnog sustava

~ definiranje koordinatnog sustava alata

WAIT(DI[141] AND DI[184])
CALL MAKRO2
J P[1] 100% FINE
L P[2] 100mm/sec FINE
CALL GR_CL
L P[1] 500mm/sec FINE
DO[184]=PULSE, 0.2sec

UP2

UFRAME_NUM=0
UTOOL_NUM=0
J P[1] 100% CNT100
J P[2] 100% FINE
DO[121]=ON
WAIT DI[121]=ON
L P[3] 100mm/sec FINE
CALL GR_OP
WAIT DI[122]=ON
L P[2] 500mm/sec FINE
DO[125]=ON
J P[1] 100% CNT100
J P[4] 100% FINE

UP3 = UP2

MAKRO2

DO[121]=OFF
DO[125]=OFF
DO[141]=OFF
DO[184]=OFF

BG TR

IF (DI[142]=ON), DO[101]=PULSE,
0.2sec

~ čekanje dozvole za rad od Robota 3 i dozvole za izuzimanje potisnika od vibrododavača

~ aktiviranjem ovog signala uvlači se cilindar na vibracijskom dodavaču koji opet izlazi van kada sljedeći potisnik aktivira senzor

~ definiranje korisničkog koordinatnog sustava

~ definiranje korisničkog koordinatnog sustava alata

~ pozicija za umetanje opruge u potisnik

~ dozvola Robotu 1 za umetanje opruge

~ čekanje potvrde da je opruga umetnuta

~ umetanje potisnika i opruge u kućište

~ čekanje Robota 1 da se makne iz kućišta

~ izmicanje Robota 2 iz kućišta

~ dozvola okretnom postolju za promjenu stanja

~ svi korišteni signali gase se na početku glavnog programa iz sigurnosnih razloga

~ gašenje signala unutar potprograma omogućuje ispravan *handshake* između robota

~ background logika se vrti u pozadini svih programa i u ovom slučaju omogućuje Robotu 3 da upravlja stanicom transportnog sustava koja je u nadležnosti Robota 1

7.3. Upravljački program na Robotu 1

TR_GREB1

UFRAME_NUM=3	~ definiranje korisničkog koordinatnog sustava
UTOOL_NUM=8	
CALL MAKRO1	~ definiranje korisničkog koordinatnog sustava alata
WAIT DI[131]=ON	~ čekanje dozvole za rad od Robota 3
J P[1:HOME] 100% FINE	~ <i>home</i> pozicija
CALL GR_OP	
DO[2]=ON	~ inicijalizacija okretnog postolja
DO[10]=OFF	
DO[131]=ON	~ slanje dozvole za rad Robotu 3
LBL[99]	
CALL UP1	~ pozivanje potprograma
CALL UP2	
CALL UP1	
CALL UP3	
WAIT DI[125]=ON	~ čekanje dozvole od Robota 2 za okretanje postolja
DO[2]=OFF	
DO[10]=ON	~ zakret okretnog postolja za 180°
CALL UP1	~ pozivanje potprograma
CALL UP2	
CALL UP1	
CALL UP3	
WAIT DI[125]=ON	~ čekanje dozvole od Robota 2 za okretanje postolja
DO[2]=ON	
DO[10]=OFF	~ vraćanje okretnog postolja u prvotnu poziciju

J P[2] 100% FINE	~ odlazak u prvu točku vizijskog procesa
DO[131]=ON	~ slanje dozvole za rad Robotu 3
JMP LBL[99]	~ funkcija JMP LBL[99] vraća program na početak ciklusa automatske montaže

UP1

UFRAME_NUM=3	
UTOOL_NUM=8	
CALL GR_OP	
WAIT DI[131]=ON	~ čekanje dozvole za rad od Robota 3
CALL MAKRO1	
J P[1] 100% FINE	~ odlazak u točku startanja vizijskog procesa
LBL[64]	
DO[110]=PULSE, 2.0sec	~ paljenje pozadinskog osvetljenja
VISION RUN_FIND 'TR_OPRUG'	~ pokretanje vizijskog procesa
VISION GET_OFFSET 'TR_OPRUG'	
: VR[1] JMP LBL[64]	~ spremanje podataka u vizijski registar
J P[2] 100% FINE VOFFSET, VR[1]	
L P[3] 100mm/sec FINE VOFFSET,	~ prilaženje opruzi u nestrukturiranoj okolini
:VR[1]	primjenom vizijskog procesa
CALL GR_CL	~ zahvaćanje opruge
L P[2] 100mm/sec FINE VOFFSET,	
: VR[1]	

UP2

UFRAME_NUM=0	
UTOOL_NUM=0	
J P[1] 100% CNT100	
J P[2] 100% FINE	~ pozicija za umetanje opruge u potisnik
WAIT DI[121]=ON	~ čekanje dozvole za rad od Robota 2
L P[3] 100mm/sec FINE	
DO[121]=ON	~ slanje dozvole za rad Robotu 2
L P[4] 100mm/sec FINE	
CALL GR_OP	~ umetanje opruge i potisnika u kućište
L P[5] 500mm/sec FINE	~ otvaranje prihvatnice
L P[6] 100% FINE	~izmicanje Robota 1 iz kućišta

DO[122]=ON

~ dozvola Robotu 2 za izmicanje

J P[1] 100% CNT100

J P[7] 100% FINE

~ odlazak u prvu točku vizijskog procesa

UP3

UFRAME_NUM=0

UTOOL_NUM=0

~ dodana je samo jedna neophodna međutočka, ostalo je sve isto

J P[1] 100% CNT100

J P[2] 100% CNT100

J P[3] 100% FINE

WAIT DI[121]=ON

L P[4] 100mm/sec FINE

DO[121]=ON

L P[5] 100mm/sec FINE

CALL GR_OP

L P[6] 500mm/sec FINE

L P[7] 100% FINE

DO[122]=ON

J P[1] 100% CNT100

J P[8] 100% FINE

MAKROI

DO[110]=OFF

DO[121]=OFF

DO[122]=OFF

DO[131]=OFF

DO[132]=OFF

~ svi korišteni signali gase se na početku glavnog programa iz sigurnosnih razloga

BG TR

IF (DI[184:ZVIJEZDA]=ON),

DO[132]=ON

~ background logika se vrti u pozadini svih programa i u ovom slučaju omogućuje Robotu 3 da upravlja vibrododavačem koji je u nadležnosti Robota 1

8. ZAKLJUČAK

Problematika ovog diplomskog rada bila je oblikovati rješenje automatske montaže grebenaste sklopke višeagentnim robotskim sustavom bez prevelikih promjena u trenutnom rasporedu tehničkih uređaja u Laboratoriju za projektiranje izradbenih i montažnih sustava. Razlog tomu je očuvanje funkcionalnosti prethodno izrađenih diplomskih i završnih radova od strane drugih studenata. Kako se radi o višeagentnom sustavu s tri industrijska robota koji se nisu smjeli pomicati, bilo je potrebno organizirati ostale elemente sustava tako da budu dostupni robotskim jedinicama.

Zamišljeno je da veći robot na kojemu se nalazi revolver tj. okretna glava rukuje sa dva ugradbena elementa. Prvi element procesa montaže, kućište grebenaste sklopke, bi se tako tim robotom postavio na okretno postolje. Okretno postolje za montažu sklopa tada još nije bilo nigdje montirano, ali se moglo pretpostaviti da se treba nalaziti otprilike u sredini robotskog sustava. Isti robot rukovao bi i elementom koji se prvi postavlja unutar kućišta. Zatim druga dva robota trebaju umetnuti oprugu unutar potisnika i zajedno ih usklađeno postaviti unutar kućišta. Za oprugu smo zamislili da bude nestrukturirano postavljena na stolu s pozadinskim osvjetljenjem u doseg robotu koji će njome rukovati. Prvo je ideja razrađena u programskom paketu CATIA V5R20 gdje je sastavljen cijeli virtualni sustav automatske montaže tako da odgovara stvarnom sustavu. Iz simuliranja procesa montaže došlo se do zaključka da je ona moguća i izvediva na način na koji smo zamislili. Kako bi se to još bolje provjerilo i testiralo izrađen je identičan sustav u programskom paketu Roboguide. Tu su ujedno izrađeni i upravljački programi procesa montaže. Pokazalo se da su svi elementi dostupni robotima te da je sustav montaže izvediv. Doprinos rada ovdje se očituje u projektiranju originalnog rješenja sustava automatske montaže sa rasporedom komponenata koja su se morala uklopiti u postojeća unaprijed definirana ograničenja.

Glavna problematika kod stvarnog sustava bila je vezana za rješavanje problema hvatanja opruge u nestrukturiranoj okolini, te umetanja potisnika i opruge u kućište. Na vizijskom sustavu robota koji rukuje oprugom izrađen pouzdan vizijski proces koji osigurava prepoznavanje orijentacije i pozicije predmeta rada. Vizijskim procesom omogućeno je robotu ispravno izuzimanje opruge iz nestrukturirane okoline. Razvijeni upravljački programi koriste sve prednosti višeagentnog pristupa izvođenju montaže. Umetanje potisnika i opruge u kućište izvedeno je koordiniranim radom dvaju robota koji pri tome razmjenjuju informacije o procesu te međusobnim stanjima i položajima. Pošto prilikom procesa montaže imamo četiri

ponavljanja umetanja potisnika s oprugom, upravljački programi su pisani tako da one operacije koje se ponavljaju budu u potprogramima. Time smo donekle postigli izgled standardiziranih industrijskih programa u kojima se sve radnje koje neki robot obavlja nalaze u potprogramima.

LITERATURA

- [1] Jerbić, B., Nikolić, G., Vranješ, B., Kunica, Z.: *Projektiranje automatskih montažnih sustava*. Zagreb : Keigen, 2009.
- [2] Url izvor: <http://www.fanuc.co.jp/ja/profile/production/image/cncfactory.jpg>
- [3] Url izvor: http://img.directindustry.com/images_di/photo-g/6-axis-articulated-handling-robots-32007-4166255.jpg
- [4] http://www.koncar-nsp.hr/proizvodni_program/grebenaste_sklopke/serija_GN
- [5] <http://www.americanrobotsales.com/FANUC/M-10iA-Series.pdf>
- [6] https://moodle.polymtl.ca/pluginfile.php/101696/mod_resource/content/0/LR-Mate-200iC-Series--R-30iA-Mate-Controller.pdf
- [7] Programiranje FANUC robota -osnove - Marko Švaco, mag.ing.mech; Bojan Šekoranja, mag.ing.mech; Prof.dr.sc. Bojan Jerbic
- [8] <http://www.robotsdotcom.com/VisionR-30iA.pdf>
- [9] <http://www.ab.com/programmablecontrol/pac/compactlogix/controller.html>
- [10] Inteligentni montažni sustavi (Vježba 1) - Prof.dr.sc. Bojan Jerbić, mag. ing. mech BojanŠekoranja, mag. ing. mech MarkoŠvaco, mag. ing. mech FilipŠuligoj – *podloge za vježbe*
- [11] FANUC Robot series; R-30iA Mate CONTROLLER; LR HANDLING TOOL Operator's Manual
- [12] FANUC Robotics; R-J3iB/R-30iA Priručnik za programiranje